

Expert-system for an INtelligent Supply of Thermal Energy in Industry and other Large Scale Applications

Leitfaden für
E I N S T E I N
Audits für thermische Energie



Leitfaden für EINSTEIN Audits für thermische Energie

Version: 2.0
Letzte Überarbeitung: 03/02/2011

Koordinator:
Hans Schweiger
energyXperts.BCN, Barcelona, Spanien

Autoren:

Autor(en)	Institution/Unter-nehmen	Verantwortlicher Autor für Kapitel	E-Mail
Hans Schweiger Claudia Vannoni	energyXperts.BCN, Spanien / Deutschland	1, 2.1-2.4, 3.1-3.4, 3.5.1-3.5.3, 3.5.5-3.5.6, 3.6.1-3.6.4, 3.7.,3.8, 3.10-3.12, 4.1, 4.2, 4.4	hans.schweiger@energyxperts.net, claudia.vannoni@energyxperts.net
Bettina Muster Christoph Brunner	AEE Intec, Österreich	2.5-2.6, 3.5.4, 3.7.1-3.7.3, 3.7.4.6, 3.9, 4.3	b.muster@aee.at c.brunner@aee.at
Konstantin Kulterer	Austrian Energy Agency, Österreich	3.1	konstantin.kulterer@energyagency.at
Alexandre Bertrand Frank Minette	CRP Henri Tudor, Luxembourg	Einige Abschnitte Kühlung und Klimaanlagen	alexandre.bertrand@tudor.lu frank.minette@tudor.lu

Autor(en)	Institution/Unter-nehmen	Verantwortlicher Autor für Kapitel	E-Mail
Stoyan Danov	energyXperts.BCN, Spanien	1, 2.1-2.4, 3.1-3.4, 3.5.1-3.5.3, 3.5.5-3.5.6, 3.6.1-3.6.4, 3.7.4,3.8, 3.10-3.12, 4.1, 4.2, 4.4	s.danov@gmail.com
Enrico Facci	Universität Rom, Italien	1, 2.1-2.4, 3.5.1-3.5.3, 3.6.1-3.6.2, 3.7.4, 4.4	enrico.facci@uniroma1.it
Damjan Krajnc	Universität Maribor, Slowenien	3.5.4, 3.6.5	dkrajnc@uni-mb.si
Thomas Bouquet Stefan Craenen	COGEN Europe	3.7.4.3	thomas.bouquet@coneneurope.eu stefan.craenen@cogeneurope.eu

Danksagung

Die EINSTEIN Audit-Methode und das dazugehörige Toolkit wurde im Rahmen des Europäischen Projekts „EINSTEIN (expert-system for an intelligent supply of thermal energy in industry)“ und EINSTEIN II (expert-system for an intelligent supply of thermal energy in industry and other large applications) mit der finanziellen Unterstützung der Europäischen Kommission entwickelt.

- EINSTEIN (Contract N°: EIE/07/210/S12.466708*,* Projektkoordinator: Christoph Brunner, Joanneum Research - Institute for Sustainable Techniques and Systems, Austria), 2007-2009.
- EINSTEIN-II (Contract Nº: IEE/09/702/SI2.558239 .Projektkoordinator: Hans Schweiger, energyXperts.NET, Spain), 2010 – 2012.

Teile der Entwicklung wurden außerdem unterstützt von:

- der Generalitat de Catalunya (Spanien), Departament d’Educació i Universitats unterstützt. Grant Beatriu de Pinòs No. 2006 BP-B2 0033.

- dem Spanischen Ministerium für Wissenschaft und Innovation, Projekt Nr. DEX-590000-2008-84

- der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft, Projekt Nr. 821907 („EINSTEIN in Österreich“)







Die Übersetzung ins Deutsche und die Verbreitung in Österreich wurde im Rahmen des klima:aktiv Programms energieeffiziente Betriebe, der Klimaschutzinitiative des Lebensministeriums, unterstützt.







Inhaltsverzeichnis

Einleitung 1

1 Die EINSTEIN Methode für Audits für thermische Energie – die Grundlagen 3

1.1 Thermische Energie in der Industrie und anderen großflächigen Anlagen 3
1.2 Anwendungsbereich 4
1.3 Ein integraler Zugang zur Energieeffizienz 5
1.4 Die Vorteile des EINSTEIN Audit-Verfahrens 5
1.5 Das EINSTEIN Toolkit 7
1.6 Überblick über das Handbuch 8

2 E = mc^2. Die theoretischen Konzepte von EINSTEIN 9

2.1 Energie, Energieeffizienz und erneuerbare Energien 9
2.2 Energieflüsse - Definitionen 11
2.3 Temperaturniveaus in der Wärme- und Kälteversorgung 19
2.4 Prozessmodelle und Bedarfskurven 20
2.5 Wärmeintegration und Pinch-Analyse 24
2.6 Gesamtkostenanalyse (TCA) 31

3 Durchführung eines EINSTEIN Energie-Audits 37

3.1 Erste Kontaktaufnahme: Motivieren 39
3.2 Datenbeschaffung vor dem Audit 41
3.3 Vorbereitung des Audits: Verarbeitung vorläufiger Informationen 43
3.4 „Quick&Dirty”-Vorevaluierung 45
3.5 Unternehmensbesichtigung (alternativ: zweite detaillierte Fern-Datenbeschaffung) 46
3.6 Analyse des Ist-Zustandes 51
3.7 Erstellung des Konzepts der Einsparungsmöglichkeiten und erste Definition der Energieziele 59
3.8 Berechnung der Energieleistung und Umweltanalyse 89
3.9 Wirtschaftlichkeits- und Finanzanalyse 91
3.10 Bericht und Präsentation 93
3.11 Kollektives Lernen 95
3.12 Follow-Up 96

4 Beispiele 97

4.1 Allgemeines Verfahren 97
4.2 Datenüberprüfung und -schätzung 106
4.3 Wärmerückgewinnung: Beispiel der Molkerei 113

Terminologie 120



„Es genügt nicht, dass Ihr etwas von Technik versteht, wenn eure Arbeit den Menschen einst zum Segen gereichen soll. Die Sorge um die Menschen und ihr Schicksal muss stets das Hauptinteresse allen technischen Strebens bilden, die großen ungelösten Fragen der Organisation der Arbeit und der Güterverteilung - damit die Erzeugnisse unseres Geistes dem Menschengeschlecht zum Segen gereichen und nicht zum Fluche. Vergesst dies nie über euren Zeichnungen und Gleichungen."

Albert Einstein

Aus einer Rede vor den Studenten des California Institute of Technology, 1931.

Einleitung

Der Bedarf an thermischer Energie (Wärme und Kälte) in der Industrie macht 20 % des gesamten Endenergiebedarfs in Europa aus. Die Raumheizung und –kühlung in Gebäuden ist für weitere 27 % des Endenergiebedarfs verantwortlich. Die Energieeffizienz im Bereich der Industrie in Europa hat sich zwar in den letzten Jahrzehnten verbessert, es gibt jedoch immer noch ein großes, ungenutztes Einsparungspotential, das durch eine intelligente Kombination aus bereits bestehenden Lösungen und Technologien erschlossen werden könnte. Ein integraler Ansatz ist vonnöten, um den Verbrauch von thermischer Energie zu optimieren. Dieser muss Möglichkeiten der Bedarfsreduktion durch Wärmerückgewinnung und Prozessintegration, sowie eine intelligente Kombination von bereits bestehenden, erschwinglichen Wärme- (und Kälte-) Technologien beinhalten, die den bestehenden wirtschaftlichen Gegebenheiten Rechnung tragen.

Die in diesem Dokument beschriebene *EINSTEIN Methode für Audits für thermische Energie* wurde im Rahmen des europäischen Projekts EINSTEIN (Intelligent Energy Europe - IEE) und EINSTEIN II entwickelt. Dieses Projekt ist das Ergebnis der vorangegangenen Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern *AEE INTEC (Österreich)* und *energyXperts.NET (Spanien)* in den Jahren 2003-2007 im Rahmen der Programme „Solar Heating and Cooling" und SolarPACES, Task 33/IV über Solarwärme für industrielle Prozesse der IEA (Internationale Energieagentur) (www.iea-ship.org). Die grundlegenden Elemente und Konzepte für diese Methode waren schon im Rahmen des Europäischen Projekts (5. Rahmenprogramm) POSHIP (The Potential of Solar Heat for Industrial Processes) und des österreichischen Projekts PROMISE (Produzieren mit Sonnenenergie) entwickelt worden.

Ein interessanter Aspekt der IEA Forschungsgruppe für Task 33/IV war die *interdisziplinäre Zusammenarbeit* von Fachleuten im Bereich *erneuerbare Energietechnologien* (Solarthermie) auf der einen und *VerfahrenstechnikerInnen* auf der anderen Seite. Bei der Arbeit an verschiedenen Fallstudien aus der Industrie im Rahmen des Task 33/IV wurde klar, dass es kein angemessenes Instrument für Audits über die Versorgung mit thermischer Energie gab:

- Aufgrund der Komplexität des Problems der Optimierung der Versorgung mit thermischer Energie ist Wissen über Verfahrenstechnologien, Prozessintegration und Wärmerückgewinnungstechniken notwendig, aber auch ein breit gefächertes Wissen über die verschiedenen energieeffizienten Technologien für die Wärme- und Kälteversorgung, inklusive erneuerbare Energie.

- All das steht oft im Widerspruch zu der *Knappheit der zur Verfügung stehenden Zeit* für Schnell-Audits oder erste überschlagsmäßige „Quick&Dirty"-Machbarkeitsstudien und dem *mangelnden Wissen* der hinzugezogenen TechnikerInnen. Im besonderen Fall der Projekte über solare Prozesswärme im Rahmen des IEA Task 33/IV fehlte es den Solarthermie-ExpertInnen vor allem an Wissen über Verfahrenstechnologie, Wärmeintegration und allgemeine Aspekte der Wärmeversorgung in der Industrie. Aber das Hauptproblem ist eher allgemeiner Art: Es ist höchst unwahrscheinlich, dass eine einzelne Person, vor allem die oft im Bereich der Energie-Audits eingesetzten jungen TechnikerInnen, einen Überblick über die breite Palette an technischen Konzepten hat, die nötig sind, um wirklich umfassende und optimierte Lösungen zu erarbeiten.

Aus diesem Grund wurden die Audit-Methoden der Projektpartner auf der Basis der praktischen Erfahrung aus zahlreichen Energie-Audits in verschiedenen Industriebereichen und in großflächigen Anwendungen wie z.B. große Gebäude im Dienstleistungssektor immer weiter standardisiert. Das Resultat dessen ist die hier präsentierte EINSTEIN Audit-Methode.

Des Weiteren wurden mehrere Instrumente entwickelt, die ein schnelles Zugreifen auf die benötigten Informationen und eine Halb-Automatisierung der notwendigen Berechnungen und Planungsentscheidung (Expertensystem) ermöglichen – von einfachen Tabellenkalkulationen bis hin zu Software für spezifische Teile des Problems. Die meisten dieser Tools sind nun in der EINSTEIN Software enthalten, der Grundlage für die Einstein Audit-Methode. Da die Methode in ein vollständiges Audit-Tool mit einer Expertensystem-Software verpackt wurde, ist sie nun leicht anwendbar und leicht weiterzugeben. Das spart Zeit (und somit auch Kosten) und treibt die Standardisierung (und somit auch die Qualität) von Energie-Audits voran.

Die EINSTEIN Software und einige ergänzende Datenbanken werden als kostenfreies Open Source Software-Projekt entwickelt, das in allen Projektpartner-Sprachen[1] auf der Projektwebseite und bei allen Mitgliedern des Konsortiums erhältlich ist. Wir hoffen, dass diese Form der Veröffentlichung zu einer weit verbreiteten Nutzung unter den Energie-AuditorInnen, IngenieurInnen, BeraterInnen und ForscherInnen führen wird, die sich mit der Nutzung von thermischer Energie in großflächigen Anlagen beschäftigen, und dass die vorliegende Version ständig um neue Erfahrungen und Beträge aus der Branche erweitert wird.

[1]Englisch, Bulgarisch, Tschechisch, Französisch, Deutsch, Italienisch, Polnisch, Slowakisch, Slowenisch, Spanisch

1 Die EINSTEIN Methode für Audits für thermische Energie – die Grundlagen

1.1 Thermische Energie in der Industrie und anderen großflächigen Anlagen

Der Bedarf an thermischer Energie (Wärme und Kälte) in der Industrie (2002: ca. 2.300 TWh/8400 PJ) macht ungefähr 28% des gesamten Endenergiebedarfs (Tab. 1) und 21% der CO_2 Emissionen in Europa aus[2]. Raumheizung und –kühlung sind für weitere 27% des gesamten Endenergiebedarfs verantwortlich [DG INFSO 2008].

Tabelle *1. Verteilung des Endenergieverbrauchs in der EU im Jahr 2002. Referenz: EU Grünbuch über Energieeffizienz.*

2002	Buildings (residential and tertiary		Industry		Transport		All final demand sectors	
	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand
Solid fuels	12.2	1.1	38.7	3.6	0.0	0.0	50.9	4.7
Oil	96.8	8.9	46.9	4.3	331.5	30.6	475.2	43.9
Gas	155.6	14.4	105.4	9.7	0.4	0.0	261.5	24.2
Electricity (incl. 14 % from RES)	121.3	11.2	91.2	8.4	6.0	0.6	218.5	20.2
Derived heat	22.8	2.1	7.5	0.7	0.0	0.0	30.3	2.8
Renewables	29.0	2.7	16.2	1.5	1.0	0.1	46.2	4.3
Total	437.8	40.4	306.0	28.3	338.9	31.3	1082.6	100.0

Die Energieeffizienz im Bereich der Industrie in Europa hat sich zwar in den letzten Jahrzehnten verbessert, es gibt jedoch immer noch ein großes, ungenutztes Einsparungspotential, das durch eine intelligente Kombination aus bereits bestehenden Lösungen und Technologien erschlossen werden könnte. Im EU Grünbuch über Energieeffizienz wird das Einsparungspotential in der Industrie (ohne Kraft-Wärme-Kopplung) auf bis zu 350 TWh (1260 PJ) geschätzt (Europäische Kommission_[2005]). Im Aktionsplan für Energieeffizienz der Europäischen Kommission wird darauf hingewiesen, dass wenn die Kyoto-Ziele der EU erreicht werden sollen, dies durch den effizienten Einsatz von Energie erfolgen muss.
Die Erhöhung der Energieeffizienz bringt nicht nur die offensichtlichen Vorteile für die Umwelt mit sich; sie ist für die Industrieunternehmen auch im wirtschaftlichen Sinne attraktiv: in vielen Fällen haben sich die Ausgaben nach wenigen Monaten bis Jahren amortisiert. In einem durchschnittlichen Klein- oder Mittelunternehmen machen die Energieausgaben 3-12% der Betriebskosten aus, wobei ein Energiesparpotential von 15-20% besteht [E-Check 2006]. Trotzdem werden die notwendigen Investitionen aufgrund folgender Umstände oft nicht getätigt:

- Mangelndes Wissen über mögliche energieeffiziente Lösungen in den Unternehmen.
- Die Energieausgaben sind für die Unternehmen zwar wichtig, stellen aber keine Hauptpriorität dar. Investitionen in Energie stehen im Wettstreit zu Investitionen zur Verbesserung der Produktion und der Produkte. Das führt oft dazu, dass Investitionen in Energieeinsparungen – obwohl sie selbst wirtschaftlich wären – nicht getätigt werden, da sie quasi den Wettbewerb um das zur Verfügung stehende Geld verlieren.
- Außerdem sehen die meisten Industrieunternehmen Energie nicht als einen separaten Faktor, sondern als einen Teil eines größeren Bereichs wie Produktionskosten, Umweltauflagen, Sicherheit

[2] Zahl inkl. Stromerzeugung in der Industrie. Quelle: http://ghg.unfccc.int. Gesamte Brennstoffverbrennung für die verarbeitende Industrie und Baubranche in der EU 2002: 583.070 Mio. t CO_2.

oder Produktivität. Die Energieeffizienz muss mit anderen Bereichen um die begrenzten Ressourcen innerhalb eines Unternehmens wetteifern. Obwohl Kapital in diesem Zusammenhang am öftesten als Ressource genannt wird, könnte der Zeitaufwand des Personals eventuell gleich wichtig oder noch wichtiger sein. Aufgrund von Personalkürzungen in den Unternehmen stehen oft weniger MitarbeiterInnen zur Verfügung, die sich diesen Themen widmen können.

- Wenig (gar kein) Budget für Energie-Audits steht zur Verfügung.

- Sogar wenn Energie-Audits durchgeführt werden, ist das Wissen der AuditorInnen über die technischen Möglichkeiten oft nur begrenzt, weshalb sie gar nicht wagen, unkonventionelle, innovative Lösungen vorzuschlagen. In anderen Fällen verfügen sie einfach nicht über die Mittel, das zu tun.

Die EINSTEIN Methode für thermische Energie-Audits zielt darauf ab, einige der genannten Hindernisse zu überwinden und zu einer verbreiteten Anwendung von umfassenden, energieeffizienten Lösungen für die Wärme- und Kälteversorgung beizutragen.

1.2 Anwendungsbereich

Die EINSTEIN Methode für thermische Energie-Audits konzentriert sich auf Industriebereiche und andere Konsumenten mit großflächigen Anlagen mit einem hohen Bedarf an thermischer Energie (Wärme und Kälte) mit niedrigen und mittleren Temperaturerfordernissen bis 400 °C wie z.B.:

a) Industriebereiche

- Lebensmittelindustrie
- Chemische Industrie
- Papierindustrie
- Maschinenindustriebau, KFZ-Industrie
- Kunststoffverarbeitung
- Holzverarbeitende Industrie
- Metalloberflächenbehandlung
- Textilindustrie
- Viele andere Industriesektoren

b) nicht-industrielle Anwendungen

- Fernwärme- und Fernkältenetze, inkl. zentrale Strom- und Wärmeerzeugung für Industrie-Netze oder Netze, die sowohl Industriebetriebe als auch Verbraucher anderer Sektoren vebinden

- Gebäude im tertiären Sektor wie z.B. große Bürogebäude, Kaufhäuser, Einkaufszentren, Hotels, Spitäler, Konferenzzentren, Schulen, Thermen etc.

- Andere Anlagen, die thermische Energie verwenden, z.B. Meerwasser-Entsalzungsanlagen, Wasseraufbereitungsanlagen etc.

Die meisten Vorteile von EINSTEIN ergeben sich für Klein- und Mittelbetriebe, für die die Kosten von konventionellen, vergleichbar tiefgehenden und qualitativen Audits ein großes Hindernis für die Einführung energieeffizienter Technologien darstellen.

1.3 Ein integraler Zugang zur Energieeffizienz

Ein **ganzheitlicher, integraler Ansatz** (Abbildung 1) ist vonnöten, um den Verbrauch von thermischer Energie zu optimieren. Ein solcher umfasst:

- Möglichkeiten der **Bedarfsreduktion** durch Prozessoptimierung und den Einsatz von wettbewerbsfähigen, weniger energieintensiven Technologien
- **Maßnahmen zur Energieeffizienz** durch Wärmerückgewinnung und Prozessintegration
- eine **intelligente Kombination von bereits bestehenden Wärme- und Kältetechnologien** (effiziente Heizkessel und Brenner, Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmepumpen) mit **erneuerbaren Energien** (besonders relevant für die thermische Nutzung sind Biomasse und Solarthermie)
- Berücksichtigung der bestehenden wirtschaftlichen Gegebenheiten.

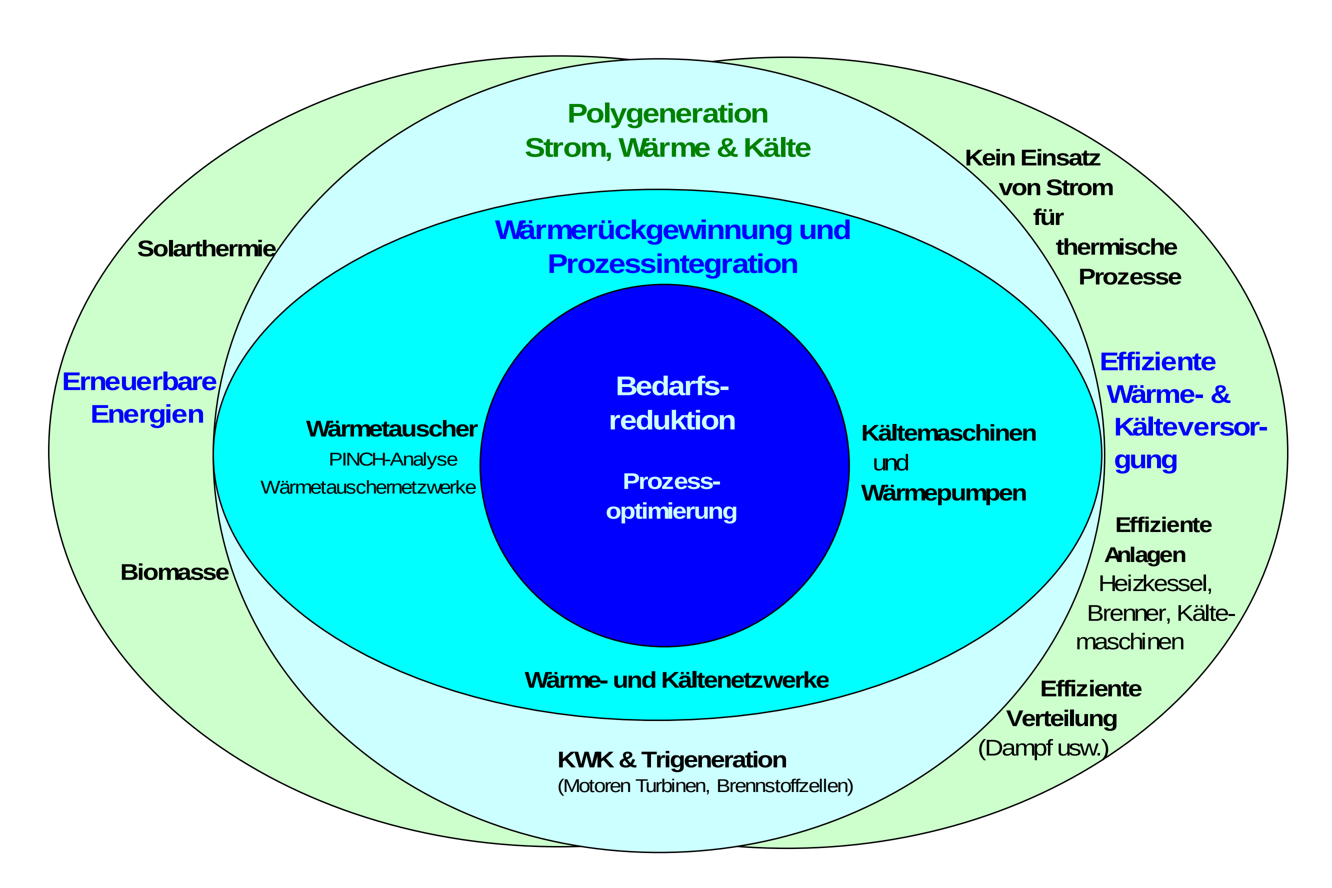


Abbildung 1: Ganzheitlicher Ansatz für Audits für thermische Energie („mit EINSTEINS Auge gesehen“), der Bedarfsreduktion, Wärmerückgewinnung und Prozessintegration mit einer intelligenten Kombination von Versorgungstechnologien verbindet.

1.4 Die Vorteile des EINSTEIN Audit-Verfahrens

Im Gegensatz zu einigen Aspekten des Stromverbrauchs wie z.B. durch Pumpen, Motoren, Beleuchtung, wo oft eine Liste mit Empfehlungen und Standardmaßnahmen gute Ergebnisse erzielen kann, ist die Optimierung des Bedarfs an *thermischer* Energie technisch ziemlich komplex:

- In vielen – vor allem in kleinen und mittleren – Unternehmen stehen nur sehr wenige und oft nur pauschale Informationen über den tatsächlichen Energieverbrauch zur Verfügung (Heizkostenrechnungen, technische Daten von Heizkesseln usw.). Der Verbrauch einzelner

Prozesse und Unterprozesse muss daher entweder geschätzt oder durch kosten- und zeitintensive Messungen bestimmt werden.

- Will man die bestehenden Potentiale zur Wärmerückgewinnung nutzen, so müssen oft mehrere Prozesse mit verschiedenen Temperaturniveaus und Betriebszeiten zusammengeführt werden (Integration von Wärmetauschern und Wärmespeichern).

- Verschiedene Technologien für die Wärmeversorgung müssen kombiniert werden, um die bestmöglichen Lösungen zu erhalten.

Die technische Komplexität des vorliegenden Problems steht dem Bedarf nach einer preisgünstigen und daher notwendigerweise schnellen Bewertungsmethode gegenüber. Das ist einer der Hauptgründe dafür, dass das Energiesparpotential im Bereich der thermischen Energie immer noch viel weniger genutzt wird als das Stromsparpotential.

Um ebendiese Hindernisse zu überwinden, werden beim EINSTEIN Toolkit die in der Folge beschriebenen Konzepte eingesetzt, was es möglich macht, dass auch wenig erfahrene Fachleute die Daten von typischen KMUs mit mittlerer Komplexität in 4-8 Stunden verarbeiten und Vorschläge erarbeiten können. Die auch in Abbildung 2 erläuterten wesentlichsten Vorteile des EINSTEIN Toolkit sind:

- **Standardisierung des Problems und mögliche Lösungen:** sowohl die Datenerfassung als auch die Vorschlagserarbeitung werden mit Hilfe standardisierter Modelle für Grundoperationen (Prozesse) durchgeführt, die ein allgemeines industrielles Verfahren für die vom Projekt untersuchten Industriebranchen und Gebäudetypen darstellen. Ebenso gibt es standardisierte Module für die Untersysteme der Wärme- und Kälteversorgung.

- **„Quick&Dirty"-Schätzungen: Hilfestellung für die Schätzung und Berechnung von nicht-verfügbaren, aber notwendigen Daten** über den Wärmebedarf. Sehr oft kann man zumindest ungefähre Zahlen über den Wärmebedarf der verschiedenen Prozesse erhalten, wenn man verschiedene – oftmals unvollständige, fragmentierte und nur qualitative – Informationen zusammenfügt, die man bei den Besuchen und Gesprächen mit den technischen MitarbeiterInnen eines Unternehmens gesammelt hat. Die zur Bearbeitung dieser Daten notwendigen, oft langwierigen und zeitintensiven Berechnungen können deutlich verkürzt werden, indem man einen begrenzten Datensatz in das Standardverfahren aufnimmt. So kann man mit weniger als einer Stunde Aufwand Vor-Ort-Messungen durch Berechnungen ersetzen, die dank einer internen Datenquerüberprüfung zumindest für die Phase vor der Entwicklung auch in ausreichendem Maße genau sind.

- **Halb-Automatisierung des Audit-Verfahrens und der Vorschlagserarbeitung**: Die EINSTEIN Software enthält sowohl Datenbanken – z.B. mit den technischen Parametern von Standardkomponenten – als auch Hilfestellungen bei der Entscheidungsfindung, damit auch nicht spezialisierte TechnikerInnen das Tool bei komplexen Problemen einsetzen können. Mit Hilfe von Benchmarks können die BenutzerInnen den Zustand vor und nach den vorgeschlagenen Maßnahmen beurteilen. Listen für Schnellüberprüfungen und Standardmaßnahmen sind ebenfalls im Toolkit enthalten. Das Tool erstellt automatisch Audit-Berichte in einem Format, in dem sie direkt von externen AuditorInnen an KundInnen oder von den TechnikerInnen an die Geschäftsführung des Unternehmens weitergegeben werden können.

- **Dateneingabe - Internet gestützt oder mit einem kurzen Fragebogen**: Da für eine erste „Quick &Dirty"-Bewertung oft die Verarbeitung von wenigen Daten ausreichend ist, wurde ein kurzer Fragebogen entworfen. Das macht eine Datenerfassung vor Ort möglich und kann - wenn nötig - auch über Telefon ausgefüllt werden. Auf diesen Fragebogen kann man auch über eine Webseite für Fern-Dateneingabe zugreifen. Zusätzlich dazu wird es ein vereinfachtes Verfahren zur Selbstbewertung geben.

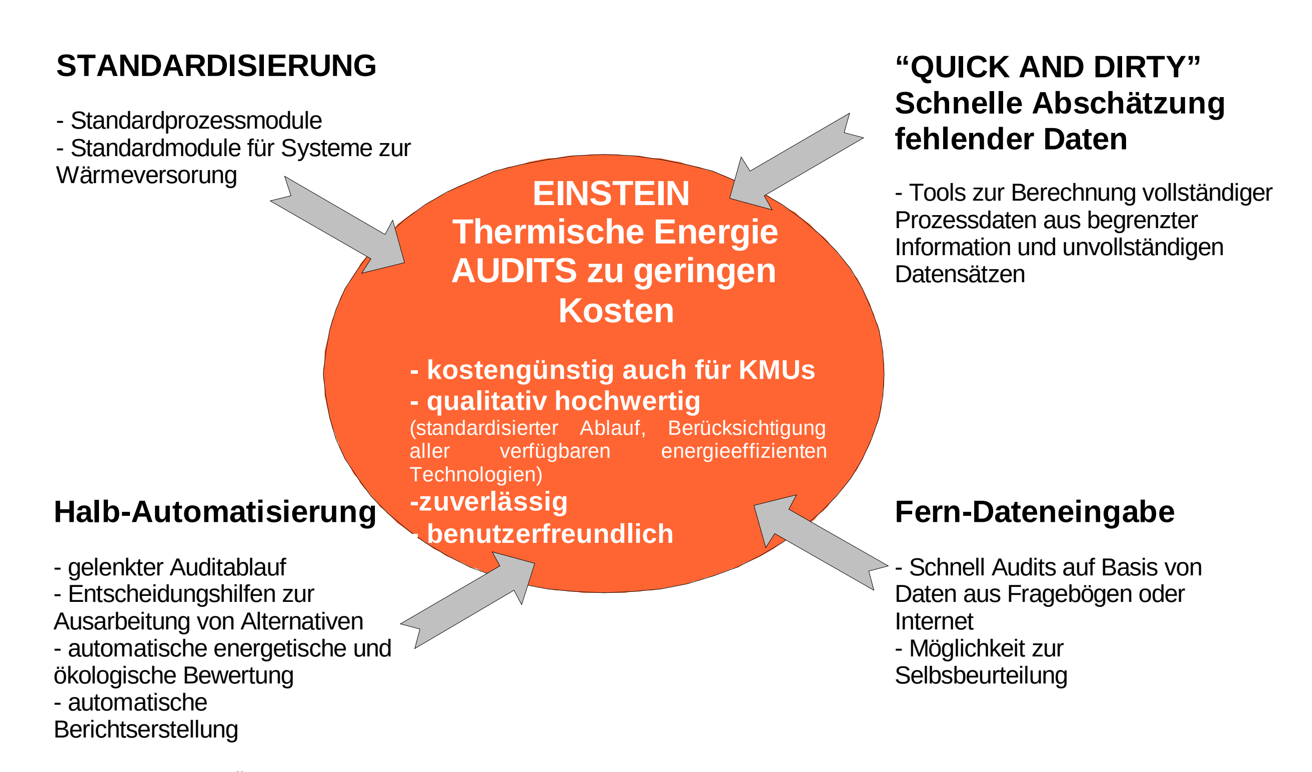


Abbildung 2: Überblick über die Audit-Funktionen von EINSTEIN für schnelle und kostengünstige, aber qualitativ hochwertige Audits für thermische Energie.

1.5 Das EINSTEIN Toolkit

Das EINSTEIN Audit Methode basiert auf einer Software mit Entscheidungshilfen und Leitlinien, die zusammen ein umfassendes **Expertensystem**[3] **für Audits für thermische Energie** bilden. Diese einfach anzuwendende Expertensystem-Software bildet gemeinsam mit dem EINSTEIN Audit-Handbuch ein **Energieaudit-Toolkit**, das die BeraterInnen durch das gesamte Verfahren begleitet – vom Audit (Vorbereitung der Besichtigung und Datenerfassung), über die Datenverarbeitung zur Ausarbeitung, Planung und quantitativen (energetischen und wirtschaftlichen) Bewertung von Alternativlösungen.

Das Kernstück der Expertensystem-Software und das Handbuch sind in Form eines **Open Source Software-Projekts** gratis erhältlich (www.sourceforge.net/projects/einstein). Diese Art von Software-Entwicklung hat sich sowohl für die Weitergabe von Wissen als auch für die ständige Wartung, Fehlerbehandlung, Updates und Verbesserung der Software durch die BenutzerInnen als sehr effizient erwiesen [FLOSS 2002].

Das EINSTEIN Toolkit ermöglicht die Erarbeitung von Lösungen für Einsparungen beim Bedarf an thermischer Energie und bei den Kosten mit Hilfe einer Expertensystem-Software mit einer benutzerfreundlichen und leicht zu bedienenden Oberfläche.

Die Expertensystem-Software besteht aus den folgenden Modulen:

a) Block für Datenbeschaffung und -bearbeitung

Die Datenbeschaffung erfolgt vor allem über einen kurzen Fragebogen. Ein zusätzliches Modul hilft den AuditorInnen die nicht verfügbaren Daten zu schätzen. Mit einem Link mit Informationensquellen zu Best Practice Beispielen und Benchmarks kann man den Ist-Zustand des Unternehmens beurteilen.

[3] Ein Expertensystem ist ein aus einigen Regeln bestehendes Computerprogramm (…), das Informationen analysiert (üblicherweise vom Benutzer des Systems zur Verfügung gestellt) (...), eine Analyse des Problems (der Probleme) ermöglicht und (…) dem Benutzer gewisse Maßnahmen empfiehlt (…).“ (wikipedia.org. Auf Englisch)

b) Block für die Erarbeitung eines neuen Vorschlags

Dieser Block besteht aus dem Modul zur Prozessoptimierung, dem Modul zur Wärmerückgewinnung, mit Hilfe dessen ein angemessenes Wärmetauschernetzwerk für die Wärmerückgewinnung und Prozessintegration erstellt und verbessert werden kann; sowie einem Modul für die Wärme- und Kälteversorgung, mit Hilfe dessen die am besten geeigneten Anlagen und Verteilungssysteme ausgewählt und bemessen werden können.

c) Block für die Bewertung des neuen Vorschlags hinsichtlich Energieleistung, Wirtschaftlichkeit und Umweltauswirkungen

Die Energieleistung des Systems wird mit einem Systemsimulationsmodul berechnet. Auf Grundlage der Energieleistung wird vom Modul für die ökonomische Analyse automatisch eine Wirtschafts- und Umweltbewertung erstellt.

d) Block für die Erstellung von Berichten für die Präsentation des neuen Vorschlags im Unternehmen

Automatische Berichte werden in einem Format erstellt, in dem sie direkt im Unternehmen präsentiert werden können. Dieser Bericht besteht aus Informationen zum technischen Design des neuen Vorschlags und zu den Investitionskosten des Projekts, sowie aus einer Roadmap unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte der Projektumsetzung.

Das Expertensystem unterstützt die AuditorInnen bei allen Entscheidungen mit Hilfemenüs, Vorschlägen für die am besten geeigneten Lösungen usw. Durch diese Hilfestellungen und das vorliegende Handbuch für Audits für thermische Energie mit den Empfehlungen und Best Practice Beispielen ist das Instrument auch für nicht fachkundige BenutzerInnen zugänglich.

1.6 Überblick über das Handbuch

In Kapitel 2 des vorliegenden Handbuchs findet sich eine Einführung in die bei der EINSTEIN Audit-Methode verwendeten theoretischen Konzepte. Die Lektüre des Kapitels ist unerlässlich, wenn man die Details der Audit-Schritte und der Berechnungen verstehen will.

In Kapitel 3 wird die EINSTEIN Audit-Methode Schritt für Schritt beschrieben – in chronologischer Form von der ersten Kontaktaufnahme mit dem Unternehmen bis zur Präsentation des Audit-Berichts und dem Follow-Up. Für jeden Audit-Schritt wird erklärt, auf welche Aspekten die Hauptaufmerksamkeit liegen sollte.

In Kapitel 4 wird die Anwendung der EINSTEIN Audit-Methode anhand von einigen Fallbeispielen beschrieben.

Im Anhang dieses Handbuchs finden Sie das Benutzerhandbuch für diese Software.

Referenzen in Kapitel 1:

Europäische Kommission (2005): „Doing more with Less: Green Paper for Energy Efficiency", Brüssel, S. 31.

E-Check in CRAFT-SME (2006): Energy Checks from Small and Medium Craft Enterprises. IEE Projekt EIE/04/066/S07.38641.

Europäische Kommission – DG INFSO: "Impacts and Communication Technologies on Energy Final Report", September 2008

FLOSS (2002). Free/Libre and Open Source Software: Survey and Study. Final report. International Institute of Infonomics, University of Maastricht, The Netherlands, Berlecon Research GmbH, Berlin, Deutschland, Juni 2002, Europäische Projektnummer IST –29565 (5. RP).

2 E = mc². Die theoretischen Konzepte von EINSTEIN

2.1 Energie, Energieeffizienz und erneuerbare Energien

2.1.1 Energieverbrauch nach Energietyp und Anwendungsart

In der Industrie und in großen Gebäuden im Dienstleistungsbereich wird Energie vor allem in Form von Strom und von Brennstoffen (fossile Brennstoffe wie Erdgas und Heizöl, aber auch Biomasse und Biogas) verwendet, manchmal jedoch auch in Form von (extern erzeugter) Wärme oder Kälte aus Netzwerken für Fernwärme und –kälte.

Der Energieverbrauch kann in Form von Endenergie und in Form von Primärenergie ausgedrückt werden:

- *Endenergie:* ist der Teil der Energie, der in den verschiedenen Energieträgern, die ins Unternehmen eingehen, enthalten ist, unabhängig von deren Form (Der Energiegehalt von Brennstoffen wird bei EINSTEIN mit dem unteren Heizwert oder H_i berechnet).

- *Primärenergie:* ist die Gesamtenergiemenge, die für die Deckung dieser Energiezufuhr notwendig ist, wobei die Verluste in allen Verfahrensschritten vom Abbau bis hin zu Umwandlung und Transport, einkalkuliert werden. Die Differenz zwischen End- und Primärenergiegehalt ist vor allem bei Strom sehr hoch: mit der derzeitig gängigen Technologie in der Stromversorgung in Europa werden zwischen 2,5 und 3 Einheiten Primärenergie für die Erzeugung von einer Einheit Strom benötigt.

Energie kann für thermische und nicht-thermische Zwecke eingesetzt werden. Die EINSTEIN Audit-Methode für thermische Energie beschäftigt sich mit dem thermischen Anteil des Energieverbrauchs. Unter thermische Zwecke fallen bei EINSTEIN:

- Wärme- und Kältezufuhr für Prozesse (inkl. Energie für chemische Reaktionen, wenn diese von Wärme ausgelöst werden)

- Raumwärme und -kühlung in Gebäuden (Produktionshallen, Büros etc.)

- Warmwasser im Sanitärbereich (z.B. Duschen, Küchen...)

Nicht thermische Zwecke sind:

- elektrischer (und anderer) Energieverbrauch für Beleuchtung, Maschinen (z.B. Motoren, Kompressoren) und andere Elektrogeräte außer Klimaanlagen, Kühler und elektrische Heizgeräte, die in den Statistiken über den Bedarf an thermischer Energie enthalten sind)

Folgende Zwecke werden bei EINSTEIN nicht berücksichtigt, wenngleich sie für die globale Energiebilanz wichtig sind:

- nicht-energetische Nutzung von Brennstoffen z.B. als Rohmaterial für chemische Verfahren

- Energieverbrauch für den Transport von Rohstoffen und Endprodukten, sowie für die Beförderung von ArbeitnehmerInnen zur/von der Arbeit.

- in den Rohstoffen enthaltene Energie (von vorangegangenen Verarbeitungsschritten).

Der Energieverbrauch für thermische Zwecke beträgt in der europäischen Industrie fast 70% des Gesamtverbrauchs an Endenergie und über 50 % des Gesamtverbrauchs an Primärenergie. In Gebäuden werden mehr als 50 % der Endenergie für Raumheizung und –kühlung und für Heißwasser genutzt.

2.1.2 Erneuerbare Energie

Die bedeutendsten erneuerbaren Energieträger für die direkte Umwandlung in Wärme- und Kälteversorgungssystemen für die Industrie sind:

- Solarthermie (inkl. solarthermische Kraft-Wärme-Kopplung (KWK): Strom und Wärme)
- Biomasse und Biogas
- Erdwärme

Alle anderen Technologien der erneuerbaren Energie sind nur indirekt relevant, da sie die Auswirkungen des Stromverbrauchs in den Unternehmen nur auf globaler Ebene verringern können (über die Grenzen der Industrie selbst hinaus). Das gilt auch für Photovoltaiksysteme - auch wenn diese auf den Dächern von Unternehmen angebracht werden -, da diese Systeme üblicherweise an das Netz angeschlossen sind und den Stromverbrauch nicht direkt decken.

Die von den Betrieben in Form von erneuerbarer Energie verbrauchte Energie wird im Primärenergieverbrauch nicht ausgewiesen. Trotzdem müssen die Unterschiede zwischen den erneuerbaren Energieträgern berücksichtigt werden, weshalb die unterschiedlichen Anteile in EINSTEIN separat ausgewiesen werden:

- Solarthermische Energie ist eine praktisch unendliche und unendlich erneuerbare Energiequelle (nur durch die auf die Erde eingehende Solarstrahlung begrenzt).
- Biomasse und Biogas sind erneuerbare, aber endliche Energieträger. Der Einsatz dieser Energie für thermische Zwecke könnte im Wettstreit mit dem Einsatz desselben Materials in anderen Systemen (z.B. Kraftwerke, Umwandlung in Biokraftstoffe) und auch mit der Bodennutzung für die landwirtschaftliche Produktion stehen.

2.1.3 Auswirkungen des Energieverbrauchs der Unternehmen auf die Umwelt

Der Energieverbrauch der Betriebe in Europa macht ungefähr 28% des Gesamtverbrauchs an Endenergie aus (ohne Berücksichtigung des Energieverbrauchs für den im Rahmen der Industrieproduktion anfallenden Verkehr)[4]. Raumheizung und –kühlung in Gebäuden verursachen zusätzliche 27 % zum Endenergieverbrauch.

Der Energieverbrauch der Betriebe wirkt sich auf unterschiedliche Arten auf die Umwelt aus, z.B.:

- *Emission* verschiedener Stoffe bei der Energieumwandlung (CO_2, andere Treibhausgase (GHG) , NO_x, CO, radioaktive Emissionen, nuklearer Abfall usw.)
- *Verbrauch* endlicher und nicht erneuerbarer Ressourcen (fossile Brennstoffe, Rohstoffe)
- mit der Energieversorgung und dem Umwandlungssystem verbundenes *Risiko* (z.B. atomare Unfälle, Transport von Brennstoffen…)
- *Wasserverbrauch* (z.B. Kühltürme)
- *Bodennutzung* (z.B. Bodennutzung für den Anbau von Biokraftstoffen oder Biomasse im Wettbewerb mit Bodennutzung für die landwirtschaftliche Produktion)

[4] Daten von EuroStat (2004).

Es würde den Rahmen von EINSTEIN sprengen, eine erschöpfende Bewertung der Auswirkungen auf die Umwelt unter Berücksichtigung aller oben genannten Faktoren durchzuführen. Die folgenden Parameter werden als Hauptindikatoren für die Analyse der Auswirkungen auf die Umwelt herangezogen:

- *Verbrauch von Primärenergie* als Hauptindikator für die Analyse der Auswirkungen auf die Umwelt
- *CO_2-Ausstoß*
- *Anfallen von hochradioaktivem (HR) Atommüll* (aufgrund des Stromverbrauchs)
- *Wasserverbrauch*

2.1.4 Bedarfs- und verbrauchsorientierte Strategien für die Reduzierung des Energieverbrauchs

Der Energieverbrauch in Unternehmen (und auch allgemein) stellt keinen Selbstzweck dar, sondern ist meist ein *Mittel*, um gewissen Ziele zu erreichen. Z.B.:

- Oberflächen oder Maschinen sollen sauber gehalten werden.
- Zwei Flüssigkeiten sollen durch Destillation getrennt werden.

Diese Ziele - wie beispielsweise die Reinigung - können oft auf völlig andere Weise, mit völlig anderen Arten des Energieverbrauchs erreicht werden. So kann eine Oberfläche oder eine Maschine folgenderweise gesäubert werden:

- durch Erhitzen einer großen Menge Wasser auf 80 oder 90 °C für die tägliche Reinigung
- durch das Waschen bei einer niedrigeren Temperatur mit Reinigungsmitteln oder Druck
- durch das Einschränken des Reinigungsbedarfs, indem man einen Prozess, bei dem viel Staub entsteht, in einen abgetrennten Raum verlegt.
- usw.

Man sollte folglich – wie schon unter 1.3. erläutert – am Beginn jedes EINSTEIN Audits nach Möglichkeiten der *Bedarfsreduktion* bei der Entstehung suchen. Allgemein ist das die kostensparendste und gleichzeitig auch umweltfreundlichste Art, Energie zu sparen.

Nur der *verbleibende* Wärme- und Kältebedarf muss dann noch von einem hinsichtlich Energie- und Umweltaspekte optimierten Wärme- und Kälteversorgungssystem, gedeckt werden.

2.2 Energieflüsse - Definitionen

Zur Analyse des Bedarfs an thermischer Energie werden bei der EINSTEIN Methode folgende Grundgrößen herangezogen:

- Endenergieverbrauch *(FEC – final energy consumption)* und Endenergieverbrauch für thermische Zwecke *(FET – final energy consumption for thermal uses),* unterer Heizwert (H), *(LCV - lower calorific value)* des Brennstoff-, Wärme- und Stromverbrauchs (für thermische Zwecke)
- Nutzwärme oder -kälte *(USH / USC – useful supply heat / cold)*: die im Wärme- oder Kälteversorgungssystem (Heizkessel, Brenner, Kältekompressor) erzeugte Wärme oder Kälte, die den verschiedenen wärme- oder kälteverbrauchenden Prozessen in Form von Dampf, heißer Luft, heißem oder Kaltwasser usw. zugeführt wird.

- *Prozessnutzwärme oder -kälte (UPH / UPC – useful process heat / cold)*: einem Prozess zugeführte Wärme oder Kälte (beim Eingang in den Prozesswärmetauscher gemessen).

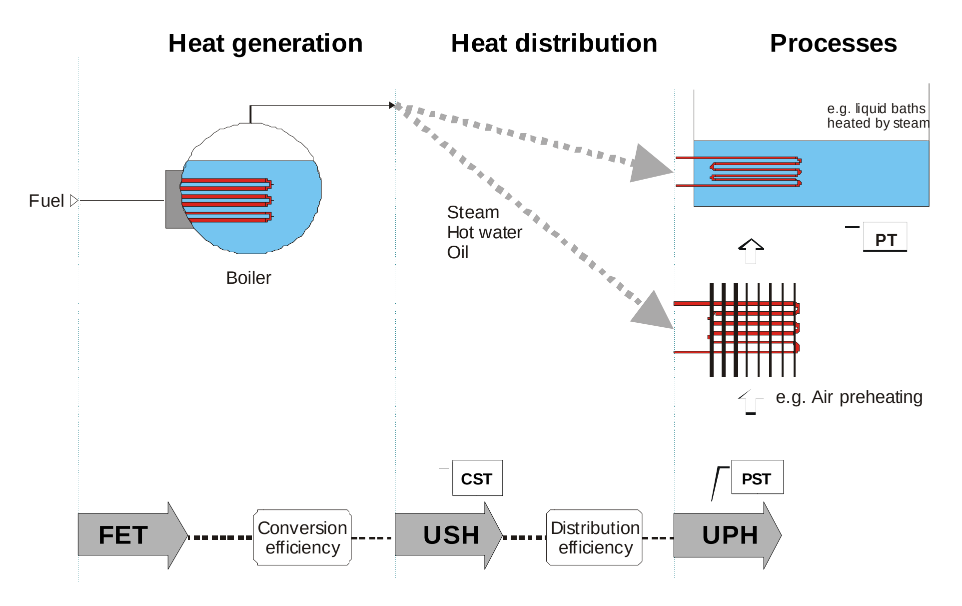


Abbildung 3: EINSTEIN Definition von Energieflüssen in einem Wärmeversorgungssystem (analog für Kühlung).

Das Verhältnis von USH/FET (oder USC/FET) und UPH/USH (oder UPC/USC) bestimmt die Umwandlungseffizienz und die Verteilungseffizienz des Systems (Abbildung 4).

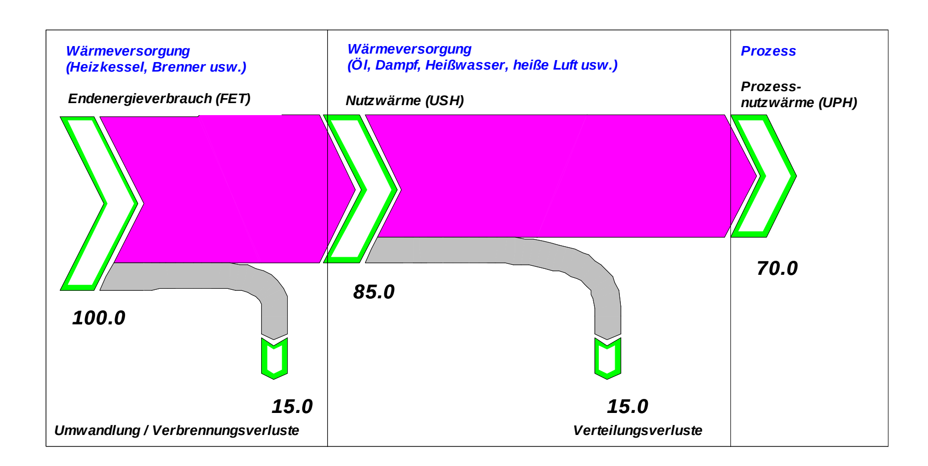


Abbildung 4: Sankey-Diagramm von Energieflüssen mit typischen Werten für Umwandlungs- und Verteilungseffizienz.

Wenn wir zusätzlich noch die verschiedenen Abwärmeflüsse (Abkälteflüsse) miteinbeziehen, wird das Schema der Energieflüsse noch etwas komplexer (Abbildung 6). Ein Beispiel für einen Industrieprozess mit verschiedenen Arten der Abwärmerückgewinnung finden Sie in Abbildung 5.

Unter *verfügbarer Abwärme (QWH)* versteht man bei EINSTEIN einen von einem der Untersysteme (Zufuhr / Verteilung / Prozesse / andere) erzeugten Energiefluss, der nicht im Hauptausstoß dieses Systems enthalten ist. Mögliche Abwärmeflüsse:

- im Abgas eines Heizkessels enthaltene Wärme oder die abgegebene Wärme eines Kühlgerätes (am Kondensator)
- von einer Dampfleitung aufgefangenes Kondensat
- im Abwasser eines Waschvorgangs enthaltene Wärme

Analog gibt es vielleicht Abkälteflüsse (QWC), wie z.B. kalte Austrittsluft aus einen klimatisierten Raum

Unter *rückgewonnener Abwärme (QHX)* oder –kälte (QCX) versteht man bei EINSTEIN hingegen einen in eines der Untersysteme (Zufuhr / Verteilung / Prozesse) eingebrachten Energiefluss, der aus dem Abwärmerückgewinnungssystem (inkl. Außenluft und Erdboden) stammt. Mögliche rückgewonnene Abwärmeflüsse:

- Vorwärmen von Verbrennungsluft und/oder Speisewasser in einem Heizkessel
- Vorwärmen von Wasser beim Zulauf eines Waschvorgangs
- Vorwärmen des Rücklaufs in einem Warmwasserverteilerkreis
- Luftvorkühlung am Beginn des Keimungsprozesses bei der Malzproduktion

In den folgenden Abschnitten finden Sie eine mathematische Definition der in den EINSTEIN Energiebilanzen verwendeten Größen.

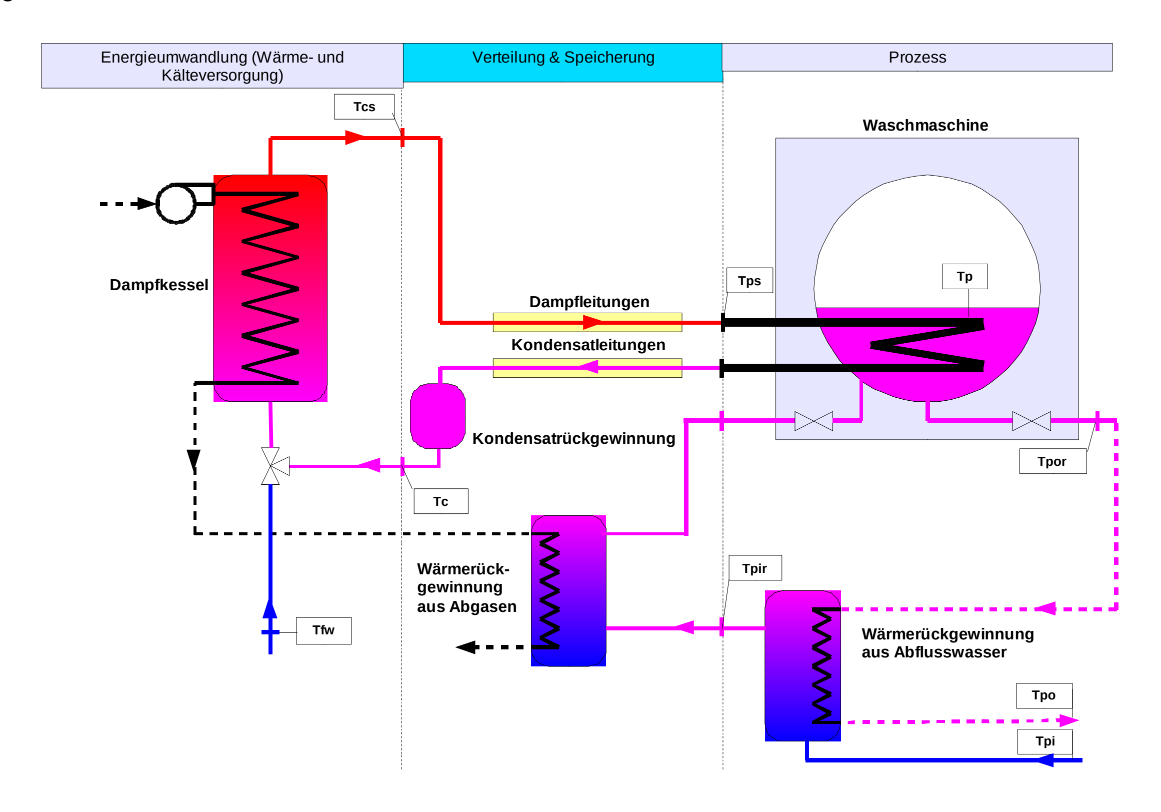


Abbildung 5: Beispiel eines industriellen Waschvorgangs im EINSTEIN Schema mit verschiedenen Wärmerückgewinnungsarten: Wärmerückgewinnung vom Abgas eines Heizkessels zum Vorwärmen von Wasser; Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser zum Vorwärmen von Wasser; Auffangen von Kondensat zum Vorwärmen von Zulaufwasser für Ihren Heiskessel.

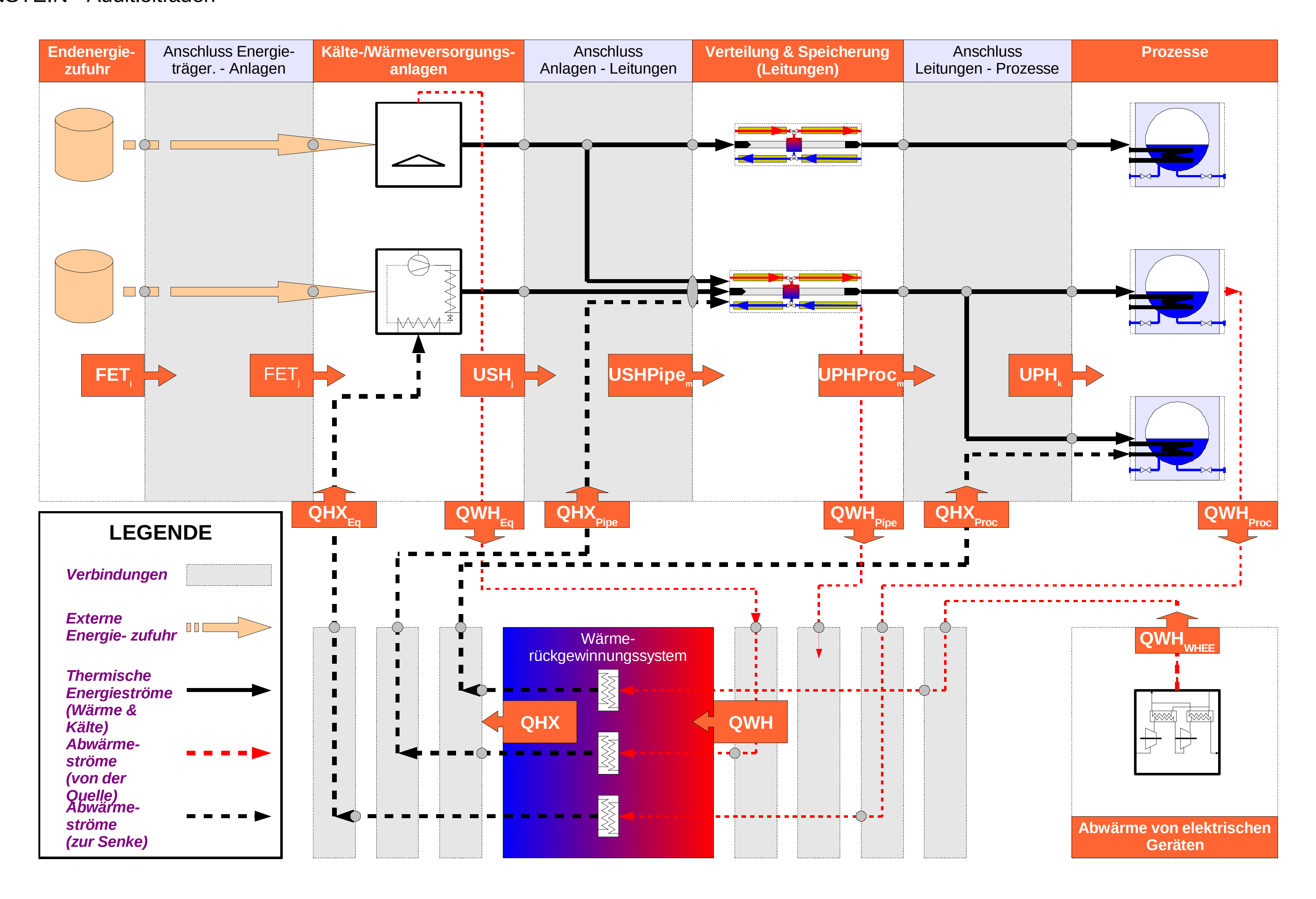


Abbildung 6: EINSTEIN Definitionen in einem Wärmeversorgungssystem mit Wärmerückgewinnung (analog für Kälteversorgungssysteme)

2.2.1 End- und Primärenergieverbrauch

Unter dem gesamten Endenergieverbrauch (FEC) wird die gesamte Endenergiemenge verstanden, die in Form von Brennstoffen (H_i – unterer Heizwert), Elektrizität und Fernwärme in ein Unternehmen geliefert wird.

$$E_{FEC} = E_{FEC,el} + \sum_{i=1}^{N_{fuels}} E_{FEC,fuel(i)} + E_{FEC,heat} \qquad (2.1)$$

Daraus wird mithilfe der verschiedenen Umwandlungsfaktoren für jeden Energietyp der Primärenergieverbrauch (PEC – primary energy consumption) errechnet.

$$E_{PEC} = f_{PE,el} E_{FEC,el} + \sum_{i=1}^{N_{fuels}} f_{PE,i} E_{FEC,fuel(i)} + f_{PE,heat} E_{FEC,heat} \qquad (2.2)$$

Wobei $f_{PE,el}$ der Primärenergieumwandlungsfaktor für Elektrizität und $f_{PE,i}$ der Primärenergieumwandlungsfaktor für die verschiedenen Brennstoffe ist (s. *Tabelle* 2 für typische Werte).

Tabelle *2* Typische Primärenergie-Umrechnungsfaktoren bei unterschiedlichen Energiequellen[5]

Brennstoff	Primärenergie Umrechnungsfaktor
Holz	0,2
Fernwärme mit 70 % Erdgas betriebenen KWK	0,6
Erdgas	1,1
Heizöl	1,1
Strom	3,0

Energie wird für thermische (Heizen und Kühlen) und nicht-thermische Zwecke (Beleuchtung, Motorantriebe, etc.) verwendet. Strom, der für Kältemaschinen von Klimaanlagen und Kühlanlagen und für elektrisch betriebene Heizanlagen verwendet wird, wird der Energie für thermische Zwecke zugerechnet.

Die entsprechenden Energiemengen werden folgendermaßen bezeichnet:

- PET/FET: Primär-/Endenergie für thermische Zwecke
- PEO/FEO: Primär-/Endenergie für andere (nicht-thermische) Zwecke

Für den Endenergieverbrauch (und analog dazu auch für den Primärenergieverbrauch) gilt die folgende Gleichung:

$$E_{FEC} = E_{FET} + E_{FEO} \qquad (2.3)$$

Die gesamte Endenergie für thermische Zwecke ist die Summe der Energie, die für Heiz- oder Kühlanlagen im Betrieb verbraucht wird:

$$E_{FET} = \sum_{j=1}^{N_{eq}} E_{FET,j} \qquad (2.4)$$

wobei N_{eq} für die Anzahl der thermischen Geräteeinheiten im Unternehmen steht (Heizkessel, Kältemaschinen, KWK-Motoren, etc.)

[5] *Schramek E.-R. (editor), Recknagel, Sprenger, Schramek – Taschenbuch für Heizung- und Klimatechnik 07-08, Oldenburg editions, 2007*

Sonderfall KWK:

Aus der Sicht von EINSTEIN wird KWK als Wärmeerzeugungsanlage behandelt (mehr Information dazu im Kapitel 3.7). Der Netto-Energieverbrauch von KWK-Anlagen errechnet sich aus ihrem Brennstoffverbrauch und ihrem *negativen Verbrauch* in Form der erzeugten Elektrizität:

$$E_{FET,j} = E_{FET,fuel(j)} - E_{FET,elgen,j} \qquad (2.5)$$

Hinweis: Ist die elektrische Umwandlungseffizienz einer KWK-Anlage höher als der Referenzwert des Stromnetzes, so kann der Primärenergieverbrauch einer KWK-Anlage negativ ausfallen!!!

2.2.2 Nutzwärme und –kälte (USH/C - useful supply heat/cold):

Nutzwärme (USH) oder Nutzkälte (USC) ist jene Energie, die von den Umwandlungsanlagen (Heizkesseln, Brennern, Kühlern etc.) erzeugt und am Anlagenausgang gemessen wird. Die Energiebilanz errechnet sich wie folgt:

$$\dot{Q}_{USH,j} = \dot{Q}_{USH,Eq,j} + \dot{Q}_{QHX,j} \qquad (2.6)$$

wobei $\dot{Q}_{QHX,j}$ für die Abwärme steht, die in dieser Anlage (z.B. zum Vorheizen von Verbrennungsluft oder Speisewasser) verwendet wird und $\dot{Q}_{USH,Eq,j}$ für die zusätzliche Wärme, die in dieser Anlage durch die Umwandlung von Endenergie erzeugt wird.

Die Netto-Umwandlungseffizienz wird so definiert

$$\eta_{conv,j} = \frac{\dot{Q}_{USH,Eq,j}}{\dot{E}_{FET,j}} \qquad (2.7)$$

Die gesamte Wärme, die in die einzelnen Verteilerleitungen einströmt, ist durch folgende Formel gegeben:

$$\dot{Q}_{USH,pipe,m} = \dot{Q}_{USH,m} + \dot{Q}_{QHX,m} \qquad (2.8)$$

wobei $\dot{Q}_{USH,m}$ für die Nutzwärme steht, die von der Umwandlungsanlage in die Leitung *m* einströmt und $\dot{Q}_{QHX,m}$ für die Abwärme, die direkt in die Leitung *m* (z.B. zum Beheizen des Rücklaufs) eingeleitet wird.

Der Wärmegehalt in Wärmeversorgungsanlagen, die keine geschlossenen Kreisläufe sind (z.B. Dampf mit/ohne Kondensatrückgewinnung, direkte Wassererhitzung und Verteilung) wird auf Basis von (externen) Standardreferenztemperaturen (Kaltwasserzufluss, Luftzustrom) so definiert:

$$\dot{Q}_{USH,pipe,m} = q_{m,o} h_o - q_{m,ret} h_{ret} - q_{m,i} h_i \qquad (2.9)$$

wobei die Subindizes o für outlet (Ausgang), ret für return (Rücklauf) und i für inlet (Eingang) stehen, letzerer ist der externe Referenzwert für offene Wirkungskreise. Für geschlossene Kreisläufe mit $q_m = q_{m,o} = q_{m,ret}$ gilt die vereinfachte Formel (2.9a):

$$\dot{Q}_{USH,pipe,m} = q_m \left(h_o - h_{ret}\right) \qquad (2.9a)$$

Analoge Gleichungen gelten für Nutzkälte (USC).

2.2.3 Prozessnutzwärme und –kälte (UPH/C - useful process heat/cold

Die Netto-Prozessnutzwärme (UPH) ist die Differenz zwischen dem gesamten (Brutto-)Bedarf des Prozesses (UPH_{gross}, siehe Kapitel 2.4 unten) und der intern[6] genutzten Abwärme.

$$Q_{UPH} = Q_{UPH,gross} - Q_{HX,internal} \qquad (2.10)$$

[6] Die Unterscheidung zwischen interner und externer Wärmerückgewinnung ist abhängig von der Definition der Prozessgrenzen. Sie wird bei Berechnungen von kompakten Installationen mit einigen internen Wärmetauschern eingesetzt: z.B. entspräche der Brutto-Wärmebedarf in einem Pasteurisator für kalte Milch dem Erwärmen der Milch von 4 °C auf 72 °C, der Nettowärmebedarf jedoch nur dem Weitererwärmen nach Wärmerückgewinnung, z.B. von 50 °C auf 72 °C.

Ebenso kann die (Netto-)Prozesswärme als die gesamte Wärme, die von außen entweder über das Wärmeversorgungssystem ($Q_{UPH,Proc}$) oder durch Abwärme dem Prozess direkt zugeführt wird ($Q_{HX,Proc}$) bezeichnet werden:

$$Q_{UPH} = Q_{UPH,Proc} + Q_{HX,Proc} \qquad (2.11)$$

Hier gelten wieder analoge Gleichungen für die Prozessnutzwärme (UPC) und für die rückgewonnene Abkälte (QCX).

2.2.4 Rückgewinnbare Abwärme / Abkälte (QWH - available waste heat / QWC) und rückgewonnene Abwärme / Abkälte (QHX - recovered waste heat / QCX)

Zur Berechnung des Wärmerückgewinnungspotentials muss zwischen der Gesamtabwärmemenge und jenen Abwärmeströmen unterschieden werden, deren weitere Nutzung technisch möglich ist. Bei Strömen, die einem anderen Prozess zugeführt werden, ist die rückgewinnbare Abwärme außerdem aufgrund der Endtemperatur eingeschränkt, auf die der Strom abgekühlt werden kann, was die minimale Enthalpie h_{min} bestimmt. Die nutzbare Abwärme eines bestimmten Prozesses ($Q_{QWH,Proc}$) ist durch folgende Formel gegeben:

$$Q_{QWH,Proc} = m_o\left(h_{po} - h_{min}\right) \qquad (2.12a)$$

Die Menge der zur Verfügung stehenden Abwärme von Anlagen ($Q_{QWH,Eq}$ z.B. Abgase) oder Leitungen ($Q_{QWH,pipe}$ z.B. Kondensat) wird analog auf der Basis der Eintrittstemperatur des Frischwassers (bzw. des Mediums zur Befüllung) in offene Kreisläufe als Referenz-Temperatur errechnet.

Abgesehen von Abwärmeströmen kann Abwärme auch in der thermischen Masse von Prozessanlagen oder Prozessmedien enthalten (gespeichert) sein, die im Prozess verbleiben. Die Gesamtabwärmemenge kann wie folgt berechnet werden. Dabei steht N_s für die Gesamtzahl der Startvorgänge – was der entsprechenden Anzahl der Unterbrechungen entspricht – des Prozesses:

$$Q_{QWH,Proc} = m_o\left(h_{po} - h_{min}\right) + mc_p\left(T_p - T_{min}\right)N_s \qquad (2.12b)$$

Analoge Gleichungen gelten für Abkälte.

In einem komplexen Wärmerückgewinnungssystem mit Heizwärme- und Kühlungsbedarf gibt es vielleicht die Möglichkeit des direkten Wärmeaustausches zwischen dem Kühlungsbedarf bei hohen Temperaturen und dem Heizwärmebedarf bei niedrigen Temperaturen. Dafür muss der Kühlungsbedarf aller Untersysteme (Prozesse, Rohre, Zubehör; $Q_{D,\ COOLING}$) als potentielle Wärmequelle zur Wärmerückgewinnung und umgekehrt der Heizwärmebedarf aller Untersysteme ($Q_{D\ HEIZUNG}$) als potentielle Kältequelle hinzugerechnet werden.

Die tatsächlich rückgewonnene Abwärme Q_{QHX} ist abhängig von der Konfiguration des Wärmerückgewinnungssystems und ist immer geringer als die gesamten verfügbaren Wärme- und Kältequellen oder gleich groß.

$$\sum_{h=1}^{N_{HX}} Q_{hx,h} \leq \sum_{source} Q_{QWH,source} + \sum Q_{D,cooling} \quad (2.12c)$$

und die gesamten verfügbaren Wärmesenken:

$$\sum_{h=1}^{N_{HX}} Q_{QHX,h} \leq \sum_{source} Q_{QWC,source} \square \sum Q_{D,heating} \quad (2.12d)$$

2.3 Temperaturniveaus in der Wärme- und Kälteversorgung

Im Rahmen einer EINSTEIN Analyse wird nicht nur die Energiemenge (*Quantität*) in den einzelnen Subsystemen betrachtet, sondern auch der Analyse des Temperaturniveaus (*Qualität*) der Energie (Bedarf und Zufuhr) wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Auch wenn dadurch die Analyse des Wärmebedarfs deutlich komplexer wird, ist dies unbedingt notwendig um energieeffiziente Lösungen entwickeln zu können.

- Das Wärmerückgewinnungs- und Wärmeintegrationspotential ist sehr stark von den Temperaturniveaus von Bedarf und Zufuhr abhängig (zur Verfügung stehende Abwärme oder Abkälte).

- Der Einsatz vieler energieeffizienter Umwandlungstechnologien wie zum Beispiel KWK oder Wärmepumpen und erneuerbarer Energiequellen (Solarthermie) ist (in der Praxis) auf niedrige oder mittlere Temperaturen beschränkt. Die Entwicklung eines Versorgungssystems mit maximaler Nutzung von Niedrigtemperaturquellen ist deshalb eine notwendige Bedingung für den Einsatz dieser Technologien.

- Wenn das Temperaturniveau gesenkt wird, erhöht sich die Umwandlungseffizienz herkömmlicher Wärmeversorgungsanlagen und die Wärmeverluste bei der Verteilung und Speicherung sowie über die Prozessanlagen verringern sich.

- Kälteerzeugungsanlagen sind effizienter, je höher die Verdampfungstemperatur und je geringer die Kondensationstemperatur ist.

Tabelle 3: Klassifizierung der möglichen Technologien zur Wärmeversorgung nach Temperaturniveaus.

Temperaturintervall °C	Temperaturniveau	Anwendbare Wärmevesorgungstechnologien
< 60	Niedrig	Niedrigtemperatur-Wärmepumpen Niedrigtemperatur-Solarthermie
< 90	Mittel-Niedrig	Abwärme von KWK-Maschinen (Kühlwasser) Praktische Grenze für Solar-Flachkollektoren Hochtemperatur-Wärmepumpen
< 150	Mittel	Niederdruckdampf
< 250	Mittel-Hoch	Grenze für Mitteltemperatur-Solarthermie
< 400	Hoch	Praktische Grenze für Abwärme von Gasturbinen, Biomasse, …

Wir müssen zwischen den folgenden Temperaturen in den Prozessen und den Wärmeversorgungssystemen unterscheiden:

- *Prozesstemperatur (PT):* Temperatur des Arbeitsmediums in einem Prozess.

- *Prozesszufuhrtemperatur (PST - process supply temperature):* Eintrittstemperatur des Wärmeträgers zur Prozessheizung oder des Kälteträgers zur Prozesskühlung (Beispiel: Dampftemperatur beim Eingang in den Prozesswärmetauscher).

- *Zentrale Zufuhrtemperatur (CST - central supply temperature):* Temperatur des Wärmeträgers beim Austritt aus dem zentralen Wärmeerzeuger oder des Kälteträgers aus dem zentralen Kälteerzeuger (Heizkessel, Kühler). Die Differenz zwischen CST und PST ergibt den Temperaturverlust in der Verteilerleitung.

2.4 Prozessmodelle und Bedarfskurven

2.4.1 Prozessmodelle

In EINSTEIN werden Prozesse nach einem standardisierten Prozessmodell simuliert, das zum ersten Mal im Rahmen von POSHIP[7] (Abbildung 7) beschrieben wurde. Das standardisierte Prozessmodell wird hier für Heizprozesse dargestellt. Dasselbe Modell – mit umgekehrten Vorzeichen – kann für Kühlprozesse herangezogen werden. Die meisten Prozesse erfordern sowohl das Heizen (Kühlen) eines Stroms (z.B. Warmluftströme, Warm- oder Kaltwasser, Wassererneuerung in Bädern, ...) als auch das Heizen (Kühlen) eines Behälters (Öfen, flüssige Bäder). Letztere Vorgänge können wiederum unterteilt werden in Vorheizen (Vorkühlen) vor Prozessbeginn und Temperaturerhaltung (Ausgleich thermischer Verluste im Laufe des Prozesses).

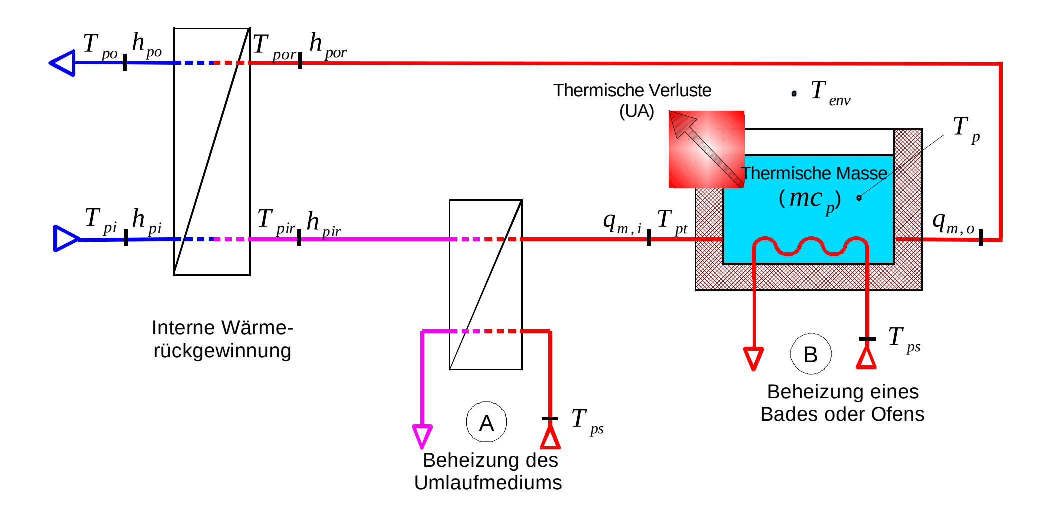


Abbildung 7: Standardisiertes EINSTEIN Prozessmodell mit einem ein- und einem ausgehenden Strom

Der gesamte Wärmebedarf eines Prozesses kann demnach theoretisch in die drei oben erwähnten Teile untergliedert werden:

a) Zirkulationswärme ($UPH_{c,}$ - useful process heat, circulation)

Der Wärmebedarf in Zusammenhang mit dem eintretenden Massenstrom des Prozessmediums (Zufluss). Dabei handelt es sich um die Wärme, die benötigt wird, um das eintretende Prozessmedium auf Prozesstemperatur zu bringen, unabhängig von dem physischen Ort, wo die Wärme zugeführt wird (vor oder im Prozess). Die Zirkulationswärme kann für kontinuierliche und Batch-Prozesse bestimmt werden und ist theoretisch unabhängig vom physischen Zeitintervall innerhalb dessen der Massenstrom zirkuliert. Die Zirkulationszeit muss nicht mit der Betriebszeit übereinstimmen.

Die Bruttowärme im Zusammenhang mit der Zirkulationsflüssigkeit kann wie folgt berechnet werden

$$Q_{UPH,c}^{gross} = m_c c_p \left(T_p - T_{pi}\right) \qquad (2.13)$$

wobei m_c für die Gesamtmasse des Prozessmediums steht, das während des Beobachtungszeitraums (ein Tag oder ein Jahr) zirkuliert. Die Netto-Prozesswärme für die zirkulierende Flüssigkeit wird durch Subtraktion der internen Abwärmenutzung errechnet:

$$Q_{UPH,c} = Q_{UPH,c}^{gross} - Q_{HX,internal} = m_c c_p \left(T_p - T_{pir}\right) \qquad (2.14)$$

[7] POSHIP: The Potential of Solar Heat for Industrial Processes. Ein Projekt der Europäischen Kommission – Generaldirektion Energie und Verkehr. Energieprogramm (5. Rahmenprogramm für Energie, Umwelt und nachhaltige Entwicklung), Projekt Nr. NNE5-1999-0308.

b) Initialheizung bei Inbetriebnahme (UPH$_{s,}$ useful process heat, start-up)

Jene Wärme, die erforderlich ist, um die Prozessmasse, *die in der Anlage verbleibt* (exklusive der Wärme, die notwendig ist, um Zuströme in kontinuierlichen oder Batch-Prozessen auf Prozesstemperatur zu bringen) auf Prozesstemperatur zu bringen, nachdem der Prozess unterbrochen wurde (z.B.: Unterbrechung über Nacht oder an Wochenenden, Unterbrechungen zwischen einzelnen Schaltzyklen).

$$Q_{UPH,s} = N_s \left(mc_p\right)_e \left(T_p - T_s\right) \qquad (2.15)$$

wobei $(mc_p)_e$ für die effektive oder äquivalente thermische Masse des Prozesses unter Berücksichtigung der thermischen Trägheit sowohl des im Prozess enthaltenen Mediums selbst als auch der umgebenden Anlage steht, und N_s für die Anzahl der Inbetriebnahmen innerhalb eines gegebenen Zeitintervalls.

c) Erhaltungswärme (UPH$_{m,}$ useful process heat, maintenance)

Jene Wärme, die zur Erhaltung der Prozesstemperatur auf konstantem Niveau erforderlich ist. Die Erhaltungswärme entspricht den thermischen Verlusten an den Prozessgrenzen zur Umgebung und der latenten Wärmeversorgung durch Verdampfung oder chemische Prozesse.

$$Q_{UPH,m} = \left[(UA)\left(T_p - T_{env}\right) + \dot{Q}_L\right] t_{op} \qquad (2.16)$$

wobei (UA) für den Koeffizienten für thermische Verluste der Prozessanlage steht, T_{env} für die Temperatur der Prozessumgebung (üblicherweise die Innentemperatur des Betriebs), $\dot{Q}_L$ für den Leistungsbedarf für Phasenänderung oder chemische Reaktionen und t_{op} für die Prozessbetriebszeit.

Zusammenfassend ausgedrückt kann die gesamte Netto-Prozesswärme aus den drei oben beschriebenen Komponenten errechnet werden:

$$Q_{UPH} = Q_{UPH,c} + Q_{UPH,m} + Q_{UPH,s} \qquad (2.17)$$

Das einfache EINSTEIN Prozessmodell kann leicht auf Prozesse mit mehreren ein- und ausgehenden Prozessströmen angewendet werden (Abbildung 8).

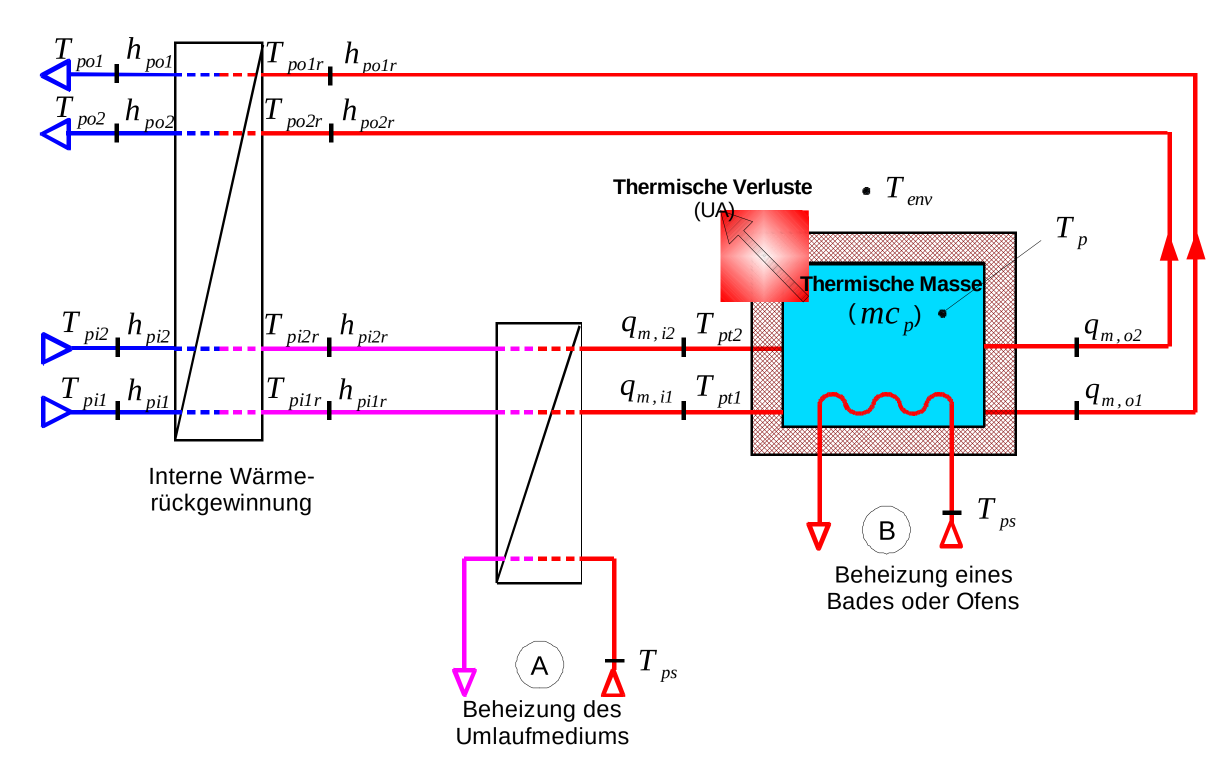


Abbildung 8: Standardisiertes EINSTEIN Prozessmodell mit mehreren ein- und ausgehenden Strömen

2.4.2 Vereinfachung der Annahmen für EINSTEIN Schnell-Audits

Um Schnellanalysen zu ermöglichen und die Anzahl der erforderlichen Eingabedaten zu reduzieren, sind die standardisierten Prozessmodelle in EINSTEIN wie folgt vereinfacht:

- konstante Temperaturniveaus: alle Eintritts-, Prozess- und Austritts- (Abwärme) temperaturen werden als konstant betrachtet.

- Zeitabhängigkeit wird nur durch den Prozess-Zeitplan vorgegeben. Alle Bestandteile des Wärmebedarfs variieren proportional mit der Zeit.

Für die meisten industriellen Prozesse ist diese Annahme eines konstanten Temperaturniveaus ausreichend. Reale Prozesse mit unterschiedlichen Temperaturen können durch Aufteilen eines realen Prozesses in zwei oder mehrere Unterprozesse modelliert werden.

2.4.3 Standard-Bedarfsprofile

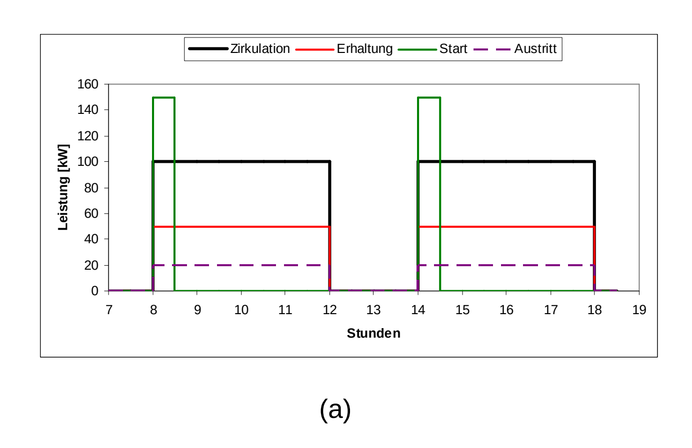
Die Zeitabhängigkeit des Wärmebedarfs und der Abwärmeverfügbarkeit in EINSTEIN Prozessen ergibt sich aus folgenden Zeitplänen:

- Zeitplan für die Prozessdurchführung: Jene Zeitperiode, in welcher eine konstante Solltemperatur T_p aufrecht erhalten werden muss.
- Zeitplan für Initialheizung bei Inbetriebnahme: Jener Zeitpunkt, zu dem die Initialheizung bei Inbetriebnahme beginnt.
- Zeitplan für eintretende Flüsse
- Zeitplan für austretende Flüsse

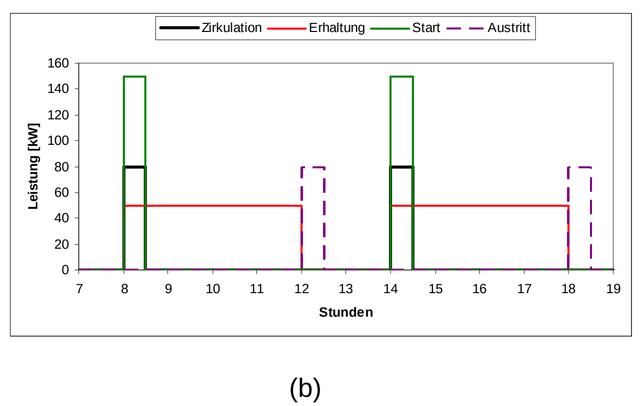
Sofern nicht im Anhang zum EINSTEIN Basisfragebogen ein detaillierter Zeitplan angegeben wird, werden Standardzeitpläne herangezogen, abhängig davon, ob es sich um einen kontinuierlichen oder Batch-Prozess handelt.

Tabelle 4: Standard-Prozesszeitpläne

	Kontinuierlicher Prozess	**Batch-Prozess**
Zirkulation (Eintritt)	Kontinuierlich in t_{op}	Die ersten 20 % der Gesamtdauer innerhalb t_{op}
Prozessstart/Inbetriebnahme	Die ersten 20 % der Gesamtdauer innerhalb t_{op}	Die ersten 20 % der Gesamtdauer innerhalb t_{op}
Erhaltung	Kontinuierlich in t_{op}	Kontinuierlich in t_{op}
Abfuhr des Überschuss-stroms (Austritt)	Kontinuierlich in t_{op}	Die ersten 20 % der Gesamtdauer nach t_{op}



(a)



(b)

Abbildung 9: Standard-Bedarfsprofil für (a) kontinuierliche und (b) Batch-Prozesse Beispiel: Prozess wobei t_{op} = 2 x 4h.

2.4.4 Heizungs- und Kühlungsbedarf von Gebäuden in EINSTEIN

Der Heizungs- und Kühlungsbedarf kann als Spezialfall im standardisierten EINSTEIN Prozessmodel dargestellt werden.

Tabelle 5: Darstellung des Gebäude Wärme- und Kühlbedarfs als Prozess in EINSTEIN.

Prozessbedarfs-Bestandteil	Heizbedarf	Kühlbedarf	Warmwasserbedarf
Inbetriebnahme	Erstmaliges Aufwärmen / Abkühlen vor Betriebszeiten		
Erhaltung	Energiebedarf zum Heizen und Kühlen (ohne Lufterneuerung)		
Zirkulation (Eintritt)	Erwärmung von Frischluft	Abkühlen und Entfeuchtung von Frischluft	Aufheizen von kaltem Wasser
Zirkulation (Austritt)	Abluft (für WRG nur bei kontrollierter Belüftung anwendbar)		Abwasser
Prozesstemperatur	Gewünschte Innentemperatur		Warmwassertemperatur (beim Verbraucher)
Prozess-Zufuhrtemperatur	Eingangstemperatur des Wärmeträgers in Wärme- oder Kältesystem (z.B. Wasser, heiße oder kalte Luft)		Warmwassertemperatur (Verteilung)

2.5 Wärmeintegration und Pinch-Analyse

Die richtige Methode, (Ab-)Wärme in ein System zu integrieren, wird in der Pinch-Theorie [Schnitzer, Ferner 1990] beschrieben, die Linhoff et al. in den 1970er Jahren entwickelt haben. Die Pinch-Analyse stellt den Wärme- und Kältebedarf des gesamten Systems in einem einfachen Diagramm dar, das den Energiebedarf (Heizen und Kühlen) der Prozesse und die jeweils erforderlichen Temperaturniveaus ausweist. Einige sehr wichtige Schlüsse können aus dieser Analyse gezogen werden:

- Wieviel Energie kann theoretisch durch Wärmerückgewinnung gespart werden?
- Wie groß ist der externe Wärmebedarf des Produktionsprozesses? In welchem Temperaturniveau ist diese Wärme erforderlich?
- Wie groß ist der externe Kühlungsbedarf des Produktionsprozesses? In welchem Temperaturniveau ist diese Kühlung erforderlich?

Diese Analyse ist demnach ein wichtiges Werkzeug für eine erste Abschätzung des Energiesparpotentials durch Wärmerückgewinnung (die zu einem späteren Zeitpunkt aus praktischen und/oder wirtschaftlichen Gründen angepasst werden muss). Außerdem zeigt diese Analyse sehr schön auf, in welchem Temperaturbereich externe Wärme/Kälte zugeführt werden muss – was wiederum eine wichtige Information für die ideale Integration eines neuen Energieversorgungssystems darstellt.

2.5.1 Die Analyse eines Produktionsprozesses mithilfe der Pinch-Analyse

Die Pinch-Theorie unterteilt die Wärmeflüsse im System basierend auf den Temperaturstufen, in einen kalten Teil, in dem Überschusswärme anfällt, weshalb ein Kühlbedarf besteht, und einen warmen Teil, der beheizt werden muss. Diese Trennung erfolgt durch die Verbindung der Temperatur-Enthalpiekurven aller zu beheizenden Ströme (Kälteverbundkurve) und aller zu kühlenden Ströme (Wärmeverbundkurve) in einem Temperatur-Betriebs-Diagramm (Siehe Abbildung 10 zum Verbinden der „kalten Ströme“). Prozessstrom bezeichnet in diesem Zusammenhang jeden Massenfluss, der erhitzt (kalter Strom) oder abgekühlt (heißer Strom) werden muss. Auch Ströme, die für den Prozess nicht unbedingt erforderlich sind (wie z.B. Abwasser das zum Abfluss fließt), können in die Analyse aufgenommen werden, sofern sie als Heiz- oder Kühlmittel für andere Ströme eingesetzt werden können.

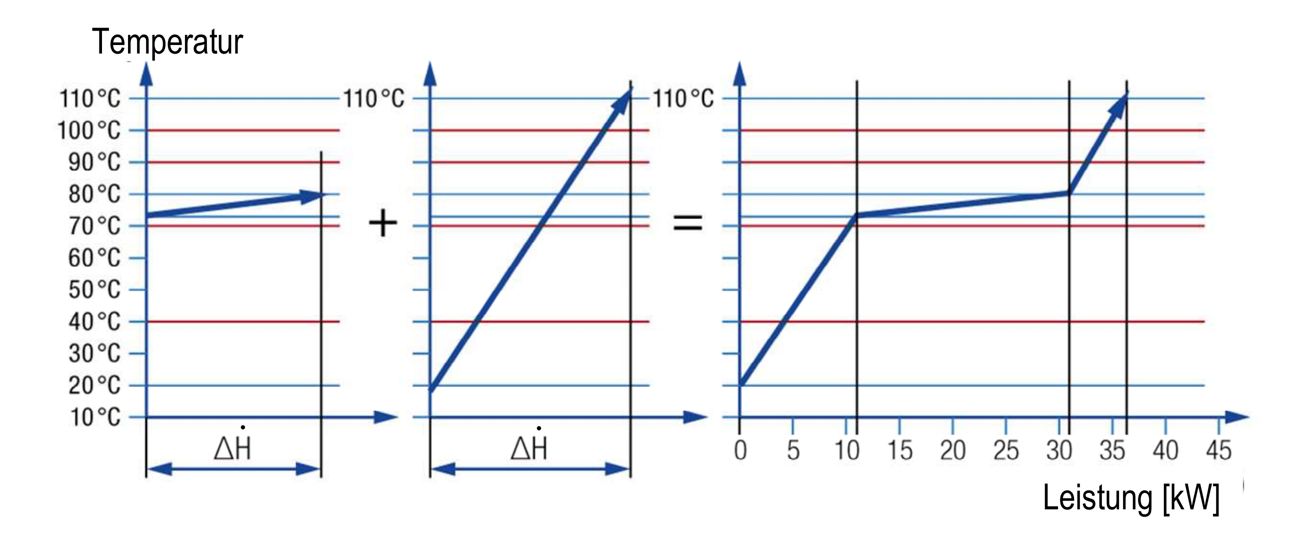


Abbildung 10: Thermodynamische Verbindung der kalten Ströme. Die Verbundkurve entsteht durch Addition der Enthalpieänderungen der einzelnen Ströme innerhalb der einzelnen Temperaturintervalle.

Die Warmströme werden genauso verbunden. Dann werden beide Kurven in ein Diagramm eingezeichnet, und zwar so, dass die Kaltstromverbundkurve immer unter der Warmstromkurve liegt. Dafür können die Kurven entlang der Energieachse (x-Achse) verschoben werden, denn die Enthalpiedifferenz ist immer eine relative und nicht eine absolute Größe.

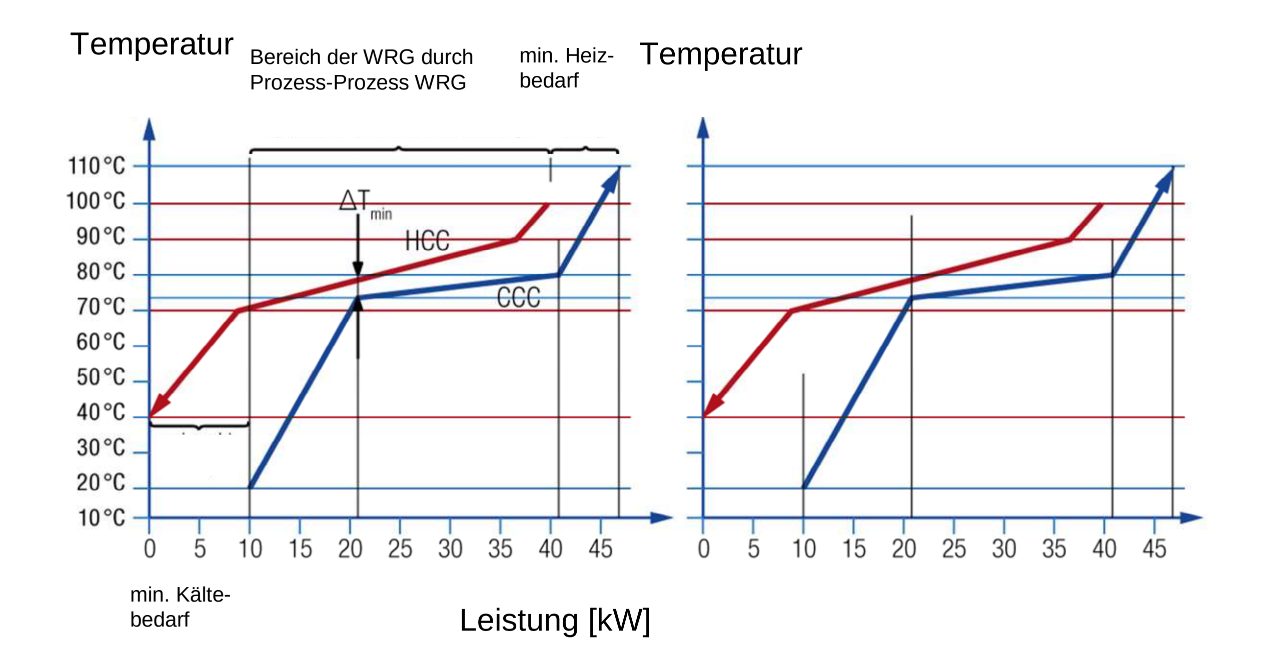


Abbildung 11: Darstellung der Kombination der Kälte- und Wärmeverbundkurven

Mithilfe dieser Verbundkurven können einige wichtige Informationen über den Prozess gewonnen werden. Die Kurven sind durch einen Punkt der niedrigsten Temperaturdifferenz ΔT_{min} voneinander getrennt. Dieser Punkt wird vom Anwender als minimales ΔT für einen Wärmetauscher im System bestimmt. Dieses ΔT_{min} bestimmt jenes Temperaturniveau im System, das als thermodynamische Einschnürung (siehe Abbildung 11) des Prozesses oder als „Pinch“ bezeichnet wird.

Die Pinch-Temperatur teilt das System in zwei Hälften: Im Bereich unterhalb der Pinch-Temperatur besteht ein Wärmeüberschuss, der durch Kühlen abgebaut werden muss oder an die Umgebung abgegeben wird.

Oberhalb der Pinch-Temperatur besteht ein Energiemangel, der durch zusätzliches Heizen ausgeglichen werden muss. Daraus ergeben sich drei wichtige Regeln für die Wärmeintegration:

- Keine externe Wärmezufuhr unterhalb der Pinch-Temperatur (Es ist ausreichend Abwärme vorhanden.)
- Keine externe Kühlung oberhalb der Pinch-Temperatur (Kühlung kann durch das Heizen anderer Prozessströme erreicht werden.)
- Kein Wärmeaustausch über den Pinch: Abwärme, mit einer Temperatur über der Pinch-Temperatur (ein Temperaturbereich mit Wärmebedarf) soll nicht zum Aufheizen eines Beckens unter Pinch-Temperatur (ein Temperaturbereich, wo bereits Wärmeüberschuss vorhanden war) herangezogen werden

Die Überschneidung der Kurven in Abbildung 11 zeigt die größtmögliche Prozesswärmerückgewinnung. Auch der minimale Heizbedarf $Q_{H,min}$ und der minimale Kühlbedarf $Q_{C,min}$ können aus der Abbildung abgelesen werden. Die minimale Temperaturdifferenz ΔT_{min} wird durch wirtschaftliche Optimierung bestimmt, denn ein niedrigeres ΔT_{min} erhöht den Wirkungsgrad des Wärmetausches, erfordert aber gleichzeitig größere Wärmetauscherflächen und damit Kosten. Tabelle 6 zeigt typische Differenzen ΔT_{min}.für typische Prozesse in unterschiedlichen Industriesektoren.

Tabelle 6: Typische ΔTmin-Werte verschiedener Prozesse (Linhoff March, 1998)

Industrieller Sektor	**ΔT_{min}-Erfahrungswerte**
Ölraffinierung	20 – 40 °C
Petrochemie	10 – 20 °C
Chemie	10 – 20 °C
Niedrigtemperaturprozesse	3 – 5 °C

Die theoretischen Werte für $Q_{C,min}$ und $Q_{H,min}$ sind in der Praxis kaum erreichbar. Die Gründe dafür sind Schwierigkeiten bei der Nutzung von Prozessströmen, die verschmutzt, korrosiv oder ganz einfach zu weit entfernt sind. Trotzdem bietet die Pinch-Analyse einen guten Überblick über die verschiedenen thermodynamischen Möglichkeiten.

Eine andere Methode zur Darstellung des Wärmebedarfs in Systemprozessen ist die **Gesamtverbundkurve** (grand composite curve - ***GCC***). Zur Erzeugung der GCC müssen die Wärmverbundkurve (HCC, hot composite curve) und die Kälteverbundkurve (CCC, cold composite curve) um ½ ΔT zueinander verschoben werden, so dass sie sich am Pinch berühren. Die horizontale Differenz zwischen den beiden Kurven wird dann in eine neue T-H-Kurve eingezeichnet, die dann die GCC ergibt. Dies ist eine andere Methode ein Wärmequellen-/Wärmesenkenprofil eines Prozesses darzustellen. Wird der Wärmefluss mit steigenden Temperaturen größer, so ist der Prozess eine Wärmesenke (bei dieser Temperatur wird mehr Energie benötigt als gegeben ist). Wird der Wärmefluss mit sinkenden Temperaturen größer, so wirkt der Prozess als Wärmequelle.

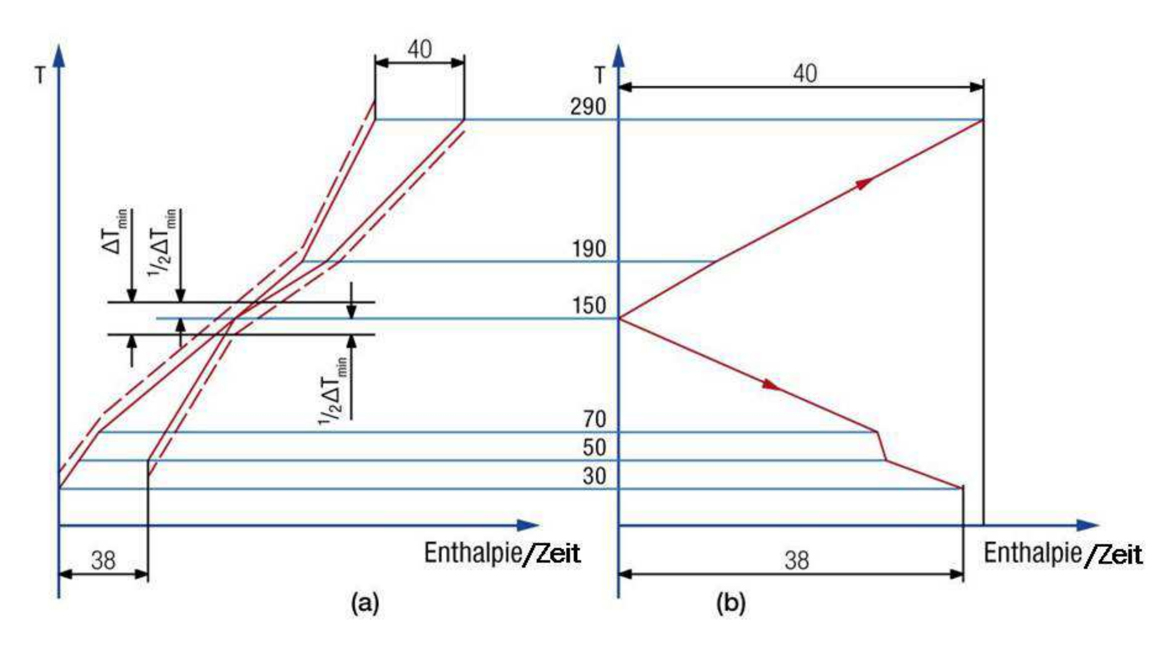


Abbildung 12: Sich überschneidende HCC und CCC (a) und die Entwicklung der GCC (b)

Das Hauptziel der GCC ist es, ideale externe Energiequellen zu bestimmen, die erforderlich sind, um unterschiedliche Ströme aufzuheizen oder abzukühlen. Bei der Bestimmung, welche Wärmequelle Wärme zu Wärmesenken der Prozesse transportieren kann, wird der verbleibende Wärmebedarf nur dann von externen Energiequellen abgedeckt, wenn keine Abwärme zur Verfügung steht. Wir können außerdem erkennen, bei welcher Temperatur die externe Energie zugeführt werden muss (siehe Abbildung 12 und 13). Hier muss erwähnt werden, dass die GCC besonders abhängig von der Wahl von ΔT_{min} ist.

2.5.2 Einige Beispiele für die Integration externer Energieversorgungssysteme auf der Grundlage der Gesamtverbundkurve

Wärmezufuhr

Um größtmögliche Effizienz zu erzielen, sollte Energiezufuhr im niedrigstmöglichen Temperaturniveau erfolgen (siehe Abbildung 13). In dem in der Abbildung dargestellten Fall, sind zwei Temperaturniveaus ideal für die Wärmezufuhr H1 und H2.

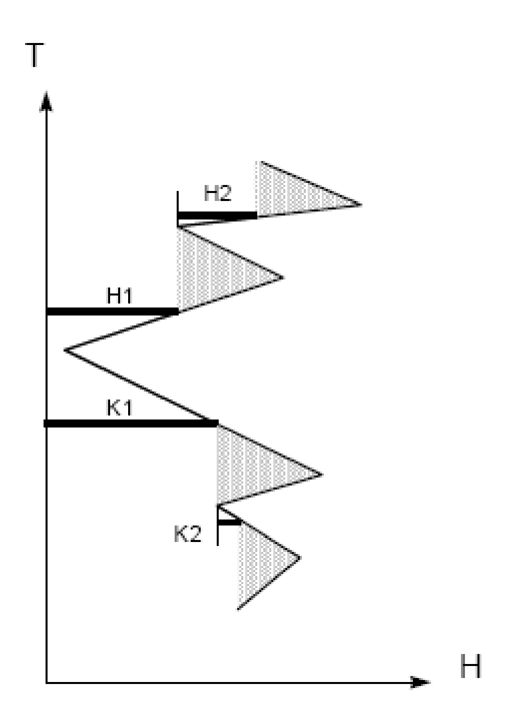


Abbildung 13: Integration von Wärme- und Kältezufuhr (Quelle: Morand et al, 2006)

Kältemaschine

Für die Kältezufuhr gibt es ebenfalls ideale Temperaturniveaus. Kühlenergie sollte immer im höchstmöglichen Temperaturniveau zugeführt werden. Die Temperaturniveaus für die Kältezufuhr sollten deshalb bei K1 und K2 liegen. (siehe Abbildung 13).

Wärmepumpe

Die Gesamtverbundkurve zeigt außerdem die thermodynamisch idealen Möglichkeiten für die Integration einer Wärmepumpe auf. Unterhalb des Pinch ist Wärme verfügbar, die für den Betrieb der Wärmepumpe genutzt werden kann. Der Kompressor hebt das Temperaturniveau über Pinch-Temperatur, wo Energiebedarf besteht. Der Kompressor der Wärmepumpe, auf den in Kapitel 3.7 genauer eingegangen wird, arbeitet also über den Pinch. Die elektrische Energie wird zur Niedertemperaturwärme addiert und führt zu Hochtemperaturwärme, die oberhalb des Pinch abgegeben wird. Aus diesem Zusammenhang können die idealen Temperaturniveaus für den Einsatz einer Wärmepumpe abgeleitet werden (siehe Abbildung 14). Eine Wärmepumpe, die bei höherer Temperatur arbeitet wäre nicht ideal in die Anlage integriert und würde mit niedrigerem Leistungskoeffizienten und höherem Stromverbrauch arbeiten.

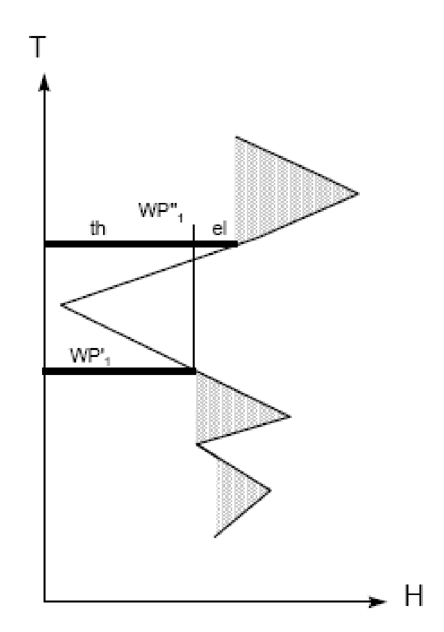


Abbildung 14: Integration von Wärmepumpen (Referenz: Morand et al, 2006)

2.5.3 Ausführung von Wärmetauschern

Für die Wahl der Ausführung von Wärmetauschern auf Basis der Pinch-Analyse ist die Wahl von ΔT_{min} entscheidend. Je geringer ΔTmin, desto näher kann die endgültige Temperatur des kalten Stroms an die Ausgangstemperatur des heißen Stroms herankommen (bei Einsatz eines Gegenstromwärmetauschers). Die folgende Abbildung zeigt diesen Zusammenhang deutlicher:

- In einem Gegenstromwärmetauscher kann die endgültige Temperatur des kalten Stroms maximal die Ausgangstemperatur des heißen Stroms minus ΔT_{min} erreichen.
- In einem Gegenstromwärmetauscher kann die endgültige Temperatur des heißen Stroms maximal die Ausgangstemperatur des kalten Stroms minus ΔT_{min} erreichen.

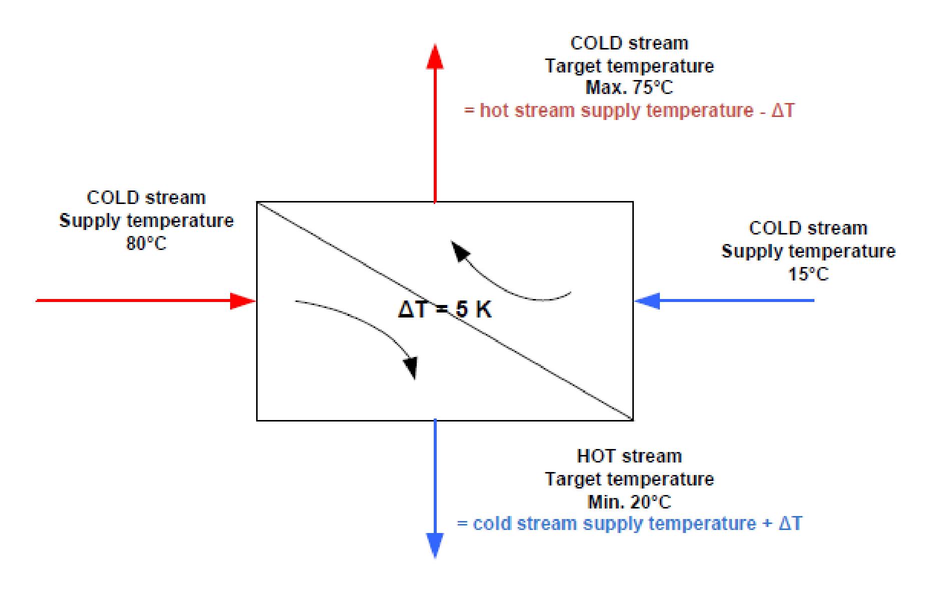


Abbildung 15: Einfluss von ΔTmin auf die Wärmetauscherausführung

Natürlich muss die Leistung, die zwischen dem heißen und dem kalten Strom getauscht wird, dieselbe sein.

$$\dot{H}\,[kW] = \dot{m}_{hs} * c_{p_{hs}} * \left(T_{supply_{hs}} - T_{target_{hs}}\right) = \dot{m}_{cs} * c_{p_{cs}} * \left(T_{target_{cs}} - T_{supply_{cs}}\right) \qquad (2.18)$$

Zufuhr = Ausgangstemperatur / Ziel = Endtemperatur

Index hs: heißer Strom = Wärmequelle

Index cs: kalter Strom = Wärmesenke

Die Hauptformel für die Berechnung der notwendigen Fläche für den Wärmetauscher lautet wie folgt:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= k * A * \Delta t_m \\ A &= heat_transfer_area \\ \Delta t_m &= temperature_difference \\ k &= heat_transfer_coefficient \end{aligned} \qquad (2.19)$$

2.5.4 Einfluss von ΔT_{min} auf die Pinch-Analyse

Einfluss auf den (thermodynamischen) Wärmeaustausch

Wie oben erklärt, ist die Wahl von ΔT_{min} entscheidend für die Planung eines Wärmetauschernetzwerks. Je niedriger der ΔT_{min}-Wert, desto näher kann die endgültige Temperatur eines kalten Stroms an die Ausgangstemperatur eines heißen Stroms herankommen. Das wird anhand eines einfachen Beispiels deutlich: Abwasser mit einer Temperatur von 50 °C kann frisches Wasser auf eine Temperatur von (50-ΔT_{min}) °C erwärmen. Je kleiner ΔT_{min}, desto näher kann die Temperatur des Frischwassers nach dem Wärmeaustausch an 50 °C herankommen. (Dieses Beispiel gilt natürlich nur dann, wenn der Massenfluss des Frischwassers dem des Abwassers entspricht oder noch kleiner ist).
Daraus wird deutlich, dass eine Änderung von ΔT_{min} die Ausführung eines Wärmetauschers erheblich beeinflussen kann. Im Folgenden die Erklärung zum oben erwähnten Beispiel der Frischwassererwärmung mit Abwasser: Wenn ΔT_{min} auf 5 °C gesetzt wird, kann das Frischwasser auf 45 °C erwärmt werden. Für den Fall dass die Zieltemperatur des Frischwassers 60 °C beträgt, sollte ein weiterer heißer Strom gefunden werden, der am besten dazu geeignet ist, das Frischwasser von 45 °C auf 60 °C zu erwärmen. Wenn nun ΔT_{min} auf 7 °C erhöht wird, ändern sich die Kriterien für diesen heißen Strom, denn nun muss das Frischwasser von 43 °C auf 60 °C erwärmt werden. Dies kann die Bestimmung des idealen heißen Stroms, der den Heizbedarf erfüllt, beträchtlich beeinflussen. Deshalb sollte ein mathematisches Wärmetauschernetzwerk immer neu berechnet werden, wenn der Wert ΔT_{min} geändert wurde.

Einfluss auf Wärmetauscherfläche und Kosten

In der Pinch-Analyse basieren die Graphen der Wärme- und Kälteverbundkurven üblicherweise auf einem allgemeinen ΔT_{min}-Wert. Später, in der Entwicklungsphase des Wärmetauschers, wird der ΔT_{min}-Wert an die Charakteristiken der Ströme angepasst. Ein Gasstrom hat einen höheren ΔT_{min}-Wert als ein Flüssigstrom, weil Flüssigkeiten üblicherweise bessere Wärmetransferkoeffizienten aufweisen. Im Kapitel „Ausführung von Wärmetauschern" wurde gezeigt, dass ein spezieller ΔT_{min}-Wert eines Wärmetauschers Einfluss auf die für den Wärmetausch erforderliche Fläche hat. Damit wirkt sich ΔT auch auf die Investitionskosten aus.

Im letzten Planungsstadium einer Wärmetauscheranlage wird bei der Bestimmung von ΔT_{min} üblicherweise ein Ausgleich zwischen Investitionskosten und Einsparungen bei den Betriebskosten gesucht. Je höher $\Delta T_{min.}$ desto weniger Fläche muss für den Wärmetauscher einkalkuliert werden und desto geringer sind seine Investitionskosten, desto geringer sind aber auch die Energieeinsparungen (Abbildung 16).

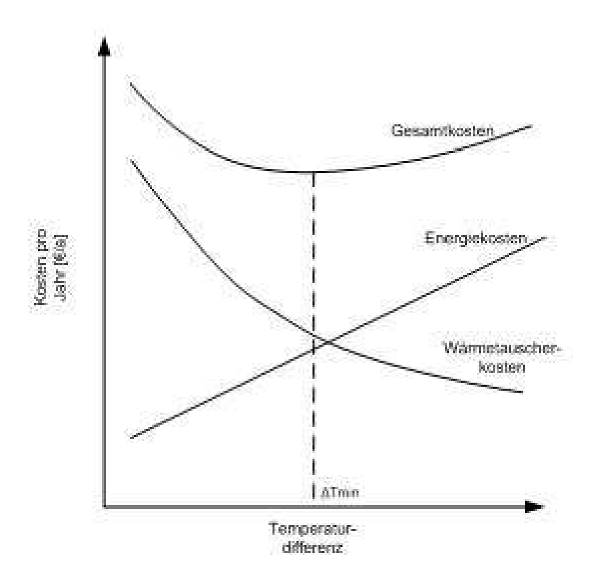


Abbildung 16: Gesamtkosten als Funktion von ΔTmin

2.6 Gesamtkostenanalyse (TCA)

Die Gesamtkostenanalyse (TCA - Total Cost Assessment) ist eine Methode, die eine konventionelle Wirtschaftlichkeitsanalyse auf Basis mikroökonomischer Parameter ermöglicht, aber auch für eine komplexere Analyse verwendet werden kann, in die auch makroökonomische Parameter wie z.B. Umwelt- oder Sicherheitsfragen einfließen und die eine Wirtschaftlichkeitsprüfung über einen längeren Zeitrahmen möglich macht. Das bedeutet, dass eine TCA auch andere Kostenkategorien berücksichtigt, die in einer konventionellen Kostenanalyse keine Beachtung finden (wie z.B. langfristige Kosten, die im Laufe der Lebensdauer eines Investitionsobjektes zu tragen kommen).

Eine TCA umfasst demnach im Vergleich zu einer konventionellen Analyse folgende zusätzliche Punkte

- *Kostenkategorien:* neben allen Kosten, die in einer konventionellen Analyse berücksichtigt werden, und allen indirekten Kosten, werden auch Einsparungen und Erträge eingerechnet, die zum Beispiel aufgrund von Imageverlusten entstehen.
- *Kostenzuordnung:* Alle Kosten werden genau den entsprechenden Investitionen zugeordnet und nicht als allgemeine Kosten verbucht.
- *Zeithorizont:* Der Zeithorizont einer TCA ist länger als der einer konventionellen Analyse damit Langzeiteinflüsse einkalkuliert werden können.
- *Indikatoren:* In der TCA werden Indikatoren verwendet, die auch die wirtschaftliche Langzeitperformance einer Investition aufzeigen können.

Daraus wird deutlich, dass die TCA-Methode auch für eine konventionelle Analyse eingesetzt werden kann, wenn einige wenige Parameter geändert werden. Deshalb bietet EINSTEIN eine Methode, die sowohl für eine konventionelle Analyse geeignet ist, als auch erweitert werden kann, damit - falls erforderlich - makroökonomische Parameter berücksichtigt werden können.

In EINSTEIN werden mithilfe von allgemeinen Wirtschaftlichkeitsanalysen die Kosten des bestehenden Prozesses (bestehende Wärme- und Kälteversorgung) den voraussichtlichen Investitionen und anderen Kosten des vorgeschlagenen alternativen Energieversorgungssystems gegenübergestellt. Im Allgemeinen wird als Zeithorizont für die Berechnungen die Lebensdauer des Projektes (die Lebensdauer der Anlagen des Energieversorgungssystems) angenommen, es kann jedoch auch jeder andere beliebige Wert eingesetzt werden.

Konventionelle Kostenanalyse in EINSTEIN (mikroökonomische Analyse)

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung basiert auf den Kosten des bestehenden Wärme- und Kälteversorgungssystems, das ersetzt werden soll, und den Kosten der vorgeschlagenen Alternative(n). Die Hauptkostenkategorien sind Investitionskosten, Energiekosten, Betriebs- und Wartungskosten, Eventualposten und andere einmalige Kosten.

Eventualposten sind möglicherweise auftretende Kosten oder Einnahmen, die einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsanalyse haben, wie z.B. eine Vergrößerung der Marktanteile, zu erwartende steuerliche Vorteile, … Andere einmalige Kosten sind Kosten, die nur einmal im Laufe der Lebensdauer eines Projekts entstehen, wie Kosten für die rechtliche Bewilligung der Investition.

Für jeden Vorschlag eines neuen Wärme- und Kälteversorgungssystems wird der Cashflow für jedes Jahr der Projektlebensdauer mithilfe der folgenden Formel errechnet:

$$CF_t = \sum_{i=1}^{n} EX_i^t - \sum_{i=1}^{n} S_i^t \qquad (2.20)$$

Wobei:

t = Jahr der Berechnung

CF_t = Cashflow zum Zeitpunkt der Berechnung

n = Anzahl der Kostenkategorien

EX = die Nettoausgaben für das Projekt, berechnet auf Basis der Kosten des vorgeschlagenen Prozesses

S = the Einsparungen durch das Projekt auf Basis der Kosten des bestehenden Prozesses, der ersetzt werden soll.

Danach wird der Netto-Zeitwert des Projektes im Verlauf der Lebensdauer des Projektes mit folgender Formel errechnet:

$$NPV_t = \sum_{i=0}^{t} \frac{CF_i}{(1+r)^i} \qquad (2.21)$$

Wobei:

t = Jahr der Berechnung

NPV_t= Netto-Zeitwert des Projektes im Jahr t

r = Unternehmensspezifischer Diskontsatz

Einer der wichtigsten wirtschaftlichen Parameter jedes Projekts ist der interne Zinsfuß IRR (Internal rate of return).Der IRR wird als jährliche effektive zusammengefasste Rendite definiert, die mit dem investierten Kapital erzielt werden kann und bezeichnet jenen Diskontsatz, der bei einer Reihe von Cashflows zu einem Barwert von Null führt. Für jeden Vorschlag wird der interne Zinsfuß (IRR) für jedes Jahr der Projektlebenszeit nach Ablauf der Amortisationszeit (payback period – PBP) errechnet:

$$\sum_{i=0}^{t} \frac{CF_i}{(1+IRR_t)^i} = 0 \qquad (2.22)$$

Wobei:

t = Jahr der Berechnung

IRRt = der interne Zinsfuß im Jahr t

In den EINSTEIN TCA-Berechnungen wird der modifizierte interne Zinsfuß MIRR (modified internal rate of return) für jedes alternative Versorgungssystem verwendet, um die Effizienz der verschiedenen Optionen zu bestimmen. Der MIRR ist aussagekräftiger als IRR und berücksichtigt das Reinvestitionspotential mittelfristiger positiver Cashflows. Der MIRR wird für jede Option für jedes Jahr der Projektlebenszeit nach Ablauf der Amortisationszeit errechnet.

$$MIRR_t = q_t^{1/t} - 1 \qquad (2.22a)$$

Wobei:
q = der Wert der positiven Cashflows im Jahr t, berechnet auf Basis der Reinvestitionsrate (hier spielt der unternehmensabhängige Diskontsatz herein), dividiert durch den Barwert der negativen Cashflows, berechnet auf Basis der Finanzierungsrate (hier kommt der Zinssatz der externen Finanzierung zum Tragen):

$$q_t = \frac{\sum_{i=0}^{t} CF_i^{+}(1+d)^{t-i}}{-\sum_{j=0}^{t} CF_j^{-}(1+r)^{j}} \qquad (2.22b)$$

Wobei:
CF^+ = positive Cashflows
CF^- = negative Cashflows
d = unternehmensspezifischer Diskontsatz (real)
r = Zinssatz der externen Finanzierung (real)

Im TCA-Modul von EINSTEIN wird die Amortisationszeit für jede Alternative bestimmt. Die Amortisationszeit ist jener Zeitraum, innerhalb dessen die Erträge aus einer Investition die Investitionssumme ausgleichen und wird wie folgt berechnet:

$$\sum_{i=0}^{PBP} \frac{CF_i}{(1+r)^i} = 0 \qquad (2.23)$$

Ein weiterer Parameter, der in jede Alternative einkalkuliert wird, ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis (Benefit Cost Ration – BCR).

Alternativ können die gesamten jährlichen Kosten des Energieversorgungssystems auch als Summe der Energiekosten für Brennstoffe und Strom, der Betriebs- und Wartungskosten (Operation and Maintenance - O&M) und der Annuität der Investition errechnet werden.

$$C_{Total} = C_{el} + C_{fuels} + C_{O\&M} + aI_0 \qquad (2.24)$$

Die Annuität der Investition ist der Anteil a = A/I_0 der (konstanten) Jahreszahlung A, der für die Tilgung[8] aller Schulden und Zinsen der ursprünglichen Investition nach Ablauf der gegebenen Zeit erforderlich ist.

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{a}{(1+r)^i} = 1 \qquad (2.25)$$

wobei die Parameter wie folgt definiert sind:
a: Annuität der Investition
N: Wirtschaftliche Abschreibungsdauer

[8] *Dies ist gleichbedeutend mit der Aussage, dass der Netto-Zeitwert der jährlichen Zahlungen der ursprünglichen Investition entspricht. Die Gleichung (2.25) gilt nur dann genau, wenn die gesamte Investition innerhalb eines Jahres getätigt wird (Jahr 09).*

Ausdehnung der makroökonomischen Parameter für eine TCA

Um makroökonomische Zusammenhänge berücksichtigen zu können, können die Kostenkategorien Betriebs- und Wartungskosten, Eventualposten und andere einmalige Kosten auf beliebige andere makroökonomische Aspekte ausgeweitet werden.

In die Kategorie Eventualposten des neuen Energieversorgungssystems könnte zum Beispiel eine Vergrößerung des Marktanteils durch makroökonomische Verbesserungen in der Region durch eine nachhaltigere Produktion aufgenommen werden. Einmalige Kosten des bestehenden Energieversorgungssystems könnten zum Beispiel Kosten für Sanierungsaktivitäten sein, die durch Umweltschäden entstehen könnten, würde die Energieversorgung nicht umgestellt.

Die Sichtweise der Firmen oder der mikroökonomische Blickwinkel vs. sozialer oder makroökonomischer Sichtweise

Einer der Hauptunterschiede zwischen dem makroökonomischen Blickwinkel (auch *Gesellschaftssicht* genannt) und dem mikroökonomischen Blickwinkel (auch *Unternehmenssicht* genannt) ist die Berücksichtigung (oder Nicht-Berücksichtigung) von Förderungen[9] und Externalitäten in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen:

- Für die unternehmensseitige Kosten-Nutzen Analyse ist die Netto-Investition (= Brutto-Investition - Förderungen) der entscheidende Investitionskostenparameter, aus Sicht der Gesellschaft sind jedoch die Gesamtkosten (Brutto) aussagekräftiger, denn schließlich sind auch Förderungen effektive Kosten für die Gesellschaft. Würde die vorgeschlagene Investition nicht getätigt, so könnte der Förderbetrag für eine andere Energiespar- oder Umweltschutzmaßnahme verwendet werden.

- Andererseits scheinen die Kosten für Externalitäten (Umweltrisiken, usw., s.o.) nicht in der Bilanz eines Unternehmens auf, müssen jedoch in der Bilanz der Gesellschaft berücksichtigt werden.

Siehe Tabelle 7 und Tabelle 8 zum Vergleich der verschiedenen Punkte zur Optimierung.

[9] *Das selbe Argument gilt auch für andere öffentliche Unterstützungsmechanismen wie Steuernachlässe, Einspeisetarife, ...*

Tabelle 7: Die wichtigsten Kostenparameter in mikro- und makroökonomischen Analysen

Relevan-te Kostenkategorien	Mikroökonomische Betrachtung (Unternehmensperspektive)	Makroökonomische Betrachtung (Aus Sicht der öffentl. Verwal-tung)
Investitionen	Nettoinvestition (Bruttoinvestition minus Förderungen/Unterstützungen)	Bruttoinvestition (Geld aus Förde-rungen würde sonst für andere Umweltmaßnahmen eingesetzt)
Energiekosten	Energiekosten unter Berücksichtigung erwarteter Energiekostensteigerun-gen	
Andere Betriebs- und War-tungskosten	Betriebsmittel, Wartung, Arbeit, Einhaltung gesetzlicher Normen.	
Eventualpositionen	z.B. positive Auswirkungen auf die Marktanteile, Einsparung der Gebühren für CO2 Emissionszertifikate.	
Einmalkosten	Einsparung v. Reparaturkosten, die bei Erhaltung des bestehenden Energie-versorgungssystems ev. an-fallen; Kosten für Genehmigungen (Baugenehmigungen)	

Tabelle 8: Wichtigste Indikatoren und Zielfunktionen zur Optimierung für mikro- und makroökonomische Analysen

	Mikroökonomische Betrachtung (Unternehmensperspektive)	Makroökonomische Betrachtung (Aus Sicht der öffentl. Verwaltung)
Wesentliche Ziele	Energiekostenreduktion (Jährliche Kosten und Annuitäten von eigenen/Netto-Investitionen)	Einsparung von Primärenergie-verbrauch
Relevante Indikatoren	Interner Zinsfuß (IIR) / Modifizierter Inter-ner Zinsfuß (MIIR) Amortisationszeit Kapitalwertmethode (NPV) Kosten-Nutzen Rechnung (BCR)	Zusätzliche jährliche Kosten für das Energiesystem pro Einheit eingesparter Primärenergie (Erforderliche interne Mindest-Verzinsung als INPUT)
Einfluss ökonom. Randbe-ding. auf das Optimierungs-kriterium	Maximale absolute Einsparung vs. Maximum IRR/MIRR	Maximale absolute Primärenergieein-sparung vs. Minimale zusätzliche Kosten pro Ein-heit eingesparter Primärenergie

Referenzen Kapitel 2:

R. Morand, R. Bendel, R. Brunner, H. Pfenninger (2006): Prozessintegration mit der Pinchmethode, Handbuch zum BFE-Einführungskurs. Bundesamt für Energie, Bern, 2006.

Schnitzer H., Ferner H. (1990): Optimierte Wärmeintegration in Industriebetrieben DBV Verlag, Graz, 1990.Linhoff

3 Durchführung eines EINSTEIN Energie-Audits

Ein EINSTEIN Audit für thermische Energie und die Entwicklung eines verbesserten Energiesystems beginnt außerhalb des Unternehmens mit einigen kurzen Vorarbeiten, die Sie von ihrem Büro aus erledigen können. Diese so genannte „Vor-Audit-Phase“ ist sehr wichtig, denn jetzt haben Sie Gelegenheit, sich über den aktuellen Stand (z.B. über das aktuelle Energiebedarfsprofil, thermische Prozesse, verwendete Anlagen, Energierechnungen, usw.) zu informieren und sich vorzubereiten, bevor Sie sich in das Unternehmen begeben. Nach einem ersten Telefonat mit dem Unternehmen sollten Sie Ihrer Kontaktperson einen elektronischen Fragebogen zur Datenbeschaffung übermitteln. Wenn Sie diesen Fragebogen ausgefüllt zurückbekommen, können die Daten automatisch in eine Berechnungssoftware übernommen werden, die eine erste Rohanalyse des Energiebedarfs und möglicher Verbesserungsbereiche durchführt.

Was Sie also in dieser Vorbereitungsphase tun können, ist einfach, aber grundlegend für spätere Zeiteinsparung: Sie können das Unternehmen und sich selbst auf das **Energie-Audit vor Ort** vorbereiten.

Diese zweite Phase umfasst zwei Umsetzungsschritte:

- eine Betriebsbesichtigung vor Ort
- eine Analyse der mit der EINSTEIN Software errechneten Ergebnisse.

Das Hauptziel der Betriebsbesichtigung ist es, fehlende Informationen durch Gespräche und Messungen in Erfahrung zu bringen, Anlagen und Hydraulikpläne zu studieren, usw. Dank der Vorabschätzung und der Definition der Auditprioritäten, sollte die Betriebsbesichtigung nicht mehr als einige Stunden beanspruchen.

Zurück im Büro müssen Sie dann einfach nur die EINSTEIN Berechnungssoftware starten. Sie wird Ihnen dabei helfen, die gesammelten Informationen auszuarbeiten und das Energiesparpotential und die möglichen wirtschaftlichen Einsparungen abzuschätzen. Mithilfe von EINSTEIN können Sie:

- die Konsistenz und Vollständigkeit der gesammelten Daten überprüfen
- Daten, die Ihnen noch fehlen, entweder schätzen oder durch einen Anruf im Unternehmen erfragen
- eine detaillierte Aufschlüsselung des Wärmeverbrauchs nach Prozessen, Temperaturniveaus, Brennstoffen, etc. erstellen
- die reale Betriebsleistung bestehender Anlagen analysieren
- mit vorhandenen Benchmarks vergleichen

Sobald Sie einen guten Einblick in die tatsächlichen Energieflüsse und ineffizienten Bereiche des Unternehmens haben, können Sie sich auch in der dritte Phasen dieses Audit-Verfahrens auf EINSTEIN verlassen: **bei der Entwicklung und Evaluierung energieeffizienter Alternativen.** Diese Aufgabe bringt Sie auf dem nachstehend beschriebenen Weg zum Vergleich verschiedener Möglichkeiten:

- Entwurf ganzheitlicher Energie- und Kostensparmaßnahmen und Definition der Energieziele
- Berechnung der Energieleistung und Analyse der Umweltauswirkungen realisierbarer Lösungen
- Analyse der wirtschaftlichen und finanziellen Aspekte

Nach Abschluss dieser Phase haben Sie auf Ihrem Laptop alle Informationen, die Sie benötigen um eine verständliche und aussagekräftige Präsentation der Ergebnisse Ihrer Studie halten zu können. Das **Reporting** mit EINSTEIN (die vierte Audit-Phase) ist einfach für Sie und überzeugend für Ihre KundInnen.

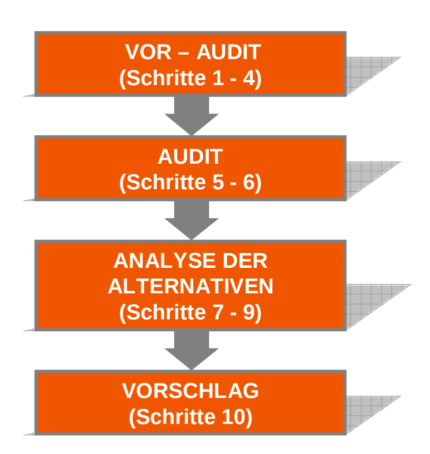


Abbildung 17: Die Phasen eines EINSTEIN Energie-Audits

Die vier Phasen eines EINSTEIN Energie-Audits können, wie in Abbildung 18 dargestellt, in 10 EINSTEIN Audit-Schritte unterteilt werden. In den folgenden Kapiteln wird jeder dieser Audit-Schritte im Detail erklärt. Zu jedem Audit-Schritt finden Sie die einzelnen Aufgaben, Anleitungen zu ihrer Ausführung und Hinweise zu den Tools des EINSTEIN Toolkits, die Sie verwenden können. Eine detaillierte Anleitung zur Verwendung der EINSTEIN Software finden Sie im Benutzerhandbuch der EINSTEIN Software.

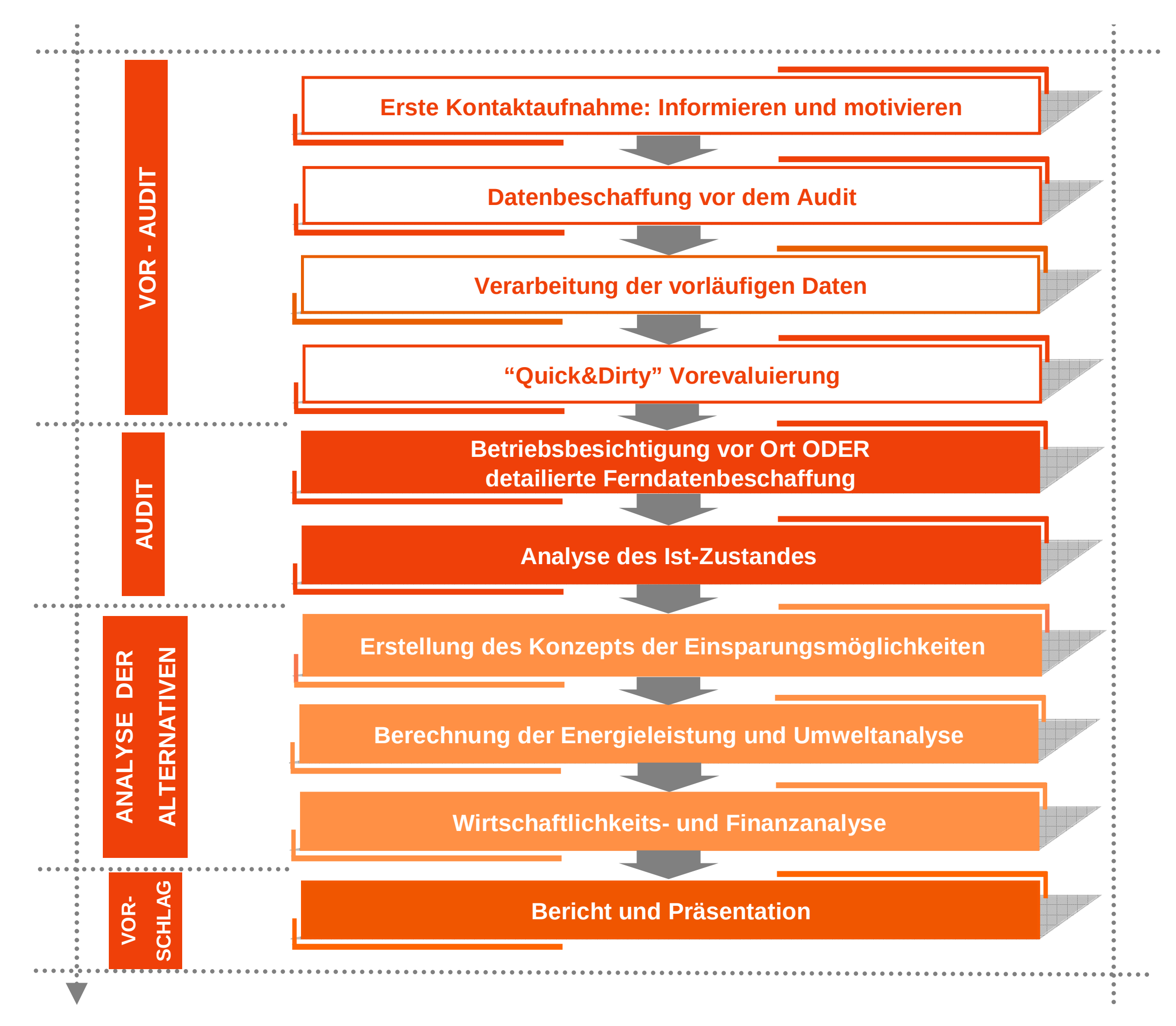


Abbildung 18: EINSTEINs zehn Schritte zur Energieeffizienz

3.1 Erste Kontaktaufnahme: Motivieren

3.1.1 Erstkontakt

Das Ziel der ersten Kontaktaufnahme ist es, das Interesse zu wecken und das Unternehmen dazu zu bringen, vorab Informationen zur Verfügung zu stellen und einen Termin zu vereinbaren.

Am besten lässt sich Interesse bei jenen Unternehmen wecken, zu denen Sie bereits persönlichen Kontakt haben. Vielleicht kennen Sie bereits Unternehmen, die ihr thermisches System verbessern oder ihre Anlagen ausbauen, umstrukturieren oder verändern möchten.

Sie können EINSTEIN außerdem in Präsentationen oder Diskussionsrunden erwähnen, die EINSTEIN Broschüre verteilen und neue Kontakte knüpfen, z.B. bei Messen, Kursen an denen Sie teilnehmen und Veranstaltungen zum Thema Energieeffizienz in der Industrie. Zusätzlich können Sie sich mit regionalen Spartenverbänden oder Wirtschaftskammern in Verbindung setzen, ob diese Ihre Arbeit unterstützen können (z.B. durch einen Artikel in ihrem Newsletter, durch Versenden Ihres Angebots an ihre Mitglieder ...)

Sie sollten Informationsmaterial an Ihre Kontakte oder Energiebeauftragte in Unternehmen einer speziellen Sparte schicken. (z.B. Industriezweige wie die Lebensmittelindustrie, Metallindustrie, Papierindustrie, Holzindustrie, Textilindustrie, usw.). Das EINSTEIN Audit ist ein neues Produkt ihres Beratungsunternehmens, deshalb können Sie mit Ihren StammkundInnen beginnen.

Ihr Informationsmaterial sollte die Hauptaspekte des EINSTEIN Audits beinhalten (wie in der EINSTEIN Broschüre erklärt, inklusive Energiekostenstatistik, usw.), aber auch die Möglichkeiten der finanziellen Unterstützung aufzeigen, die Sie vielleicht anbieten können, z.B. Förderungen öffentlicher Stellen, der Wirtschaftskammer, …

Eine oder zwei Wochen später sollten Sie die Kontaktperson, an die Sie die Informationen geschickt haben, anrufen. Ihr Ziel dabei muss sein, das Unternehmen davon zu überzeugen, auf Ihr Angebot einzusteigen und Ihnen erste Daten zu übermitteln, so dass Sie überprüfen können, ob das Unternehmen für ein EINSTEIN Audit geeignet ist. Sie sollten sich außerdem bemühen, ein persönliches Gespräch im Unternehmen zu vereinbaren und/oder Ihre GesprächspartnerInnen dazu zu veranlassen, den Basisfragebogen auszufüllen.

Prüfen Sie zuallererst, ob Sie mit der richtigen Person sprechen. Das können Sie schon im Vorhinein durch Recherchieren im Internet, in Geschäfts- oder Umweltberichten, der Presse, etc. herausfinden. Sie sollten die genaue Position, den Namen, den Titel, die Telefonnummer der Kontaktpersonen, sowie die Erzeugnisse und die Größe des Unternehmens kennen, bevor Sie zum Hörer greifen.

Auch die ersten Sätze sollten Sie sich im Vorhinein überlegen, die Vorteile Ihres Angebots und Antworten auf Reaktionen wie: „Ich habe keine Zeit, bin nicht interessiert, bitte schicken Sie uns mehr Informationen…"

3.1.2 Vorbereitendes Gespräch (optional)

Liegt das Unternehmen in der Nähe Ihres Büros, sollten Sie einen Vorab-Besuch in Betracht ziehen, um einen persönlichen Kontakt herzustellen und Ihr Unternehmen und das EINSTEIN Instrument vorzustellen. Wenn nicht, dann sollten Sie ein ausgiebigeres Telefongespräch einplanen. Wenn Sie einen Besuch machen, klären Sie vorher, ob die für Sie relevanten Personen zu diesem Zeitpunkt auch anwesend sind (z.B. WerksleiterIn, Kesselwart, leitende/r TechnikerIn, ...). Senden Sie auch im Vorhinein den Fragebogen oder das EINSTEIN Tools zur Selbsteinschätzung. (Details dazu unter 3.2)

Für dieses erste Treffen sollten Sie so viel Information wie möglich im Internet recherchieren. Sie sollten das Unternehmen kennen lernen und Erwartungen abschätzen können. (z.B. gibt es technische Probleme, sind die Energiekosten zu hoch, muss gesetzlichen Vorgaben entsprochen werden, möchte sich jemand besonders auszeichnen,…) Anhand dieser Informationen können Sie die wichtigsten Vorteile für diese Ansprechperson herausarbeiten und Ihr Ziel des Treffens festlegen. Beginnen Sie mit dem EINSTEIN Audit, machen Sie einen kurzen Rundgang durch den Betrieb.

Bei diesem Treffen sollten Sie es ihrer Ansprechperson freistellen, ob er/sie zuerst das Unternehmen präsentieren möchte oder ob Sie zuerst Ihr Unternehmen vorstellen. Danach sollten Sie die Ansprechperson

über die spezifische Situation, ihre Wünsche, Probleme und Erwartungen befragen. Sie können Probleme besprechen, über die Sie sich bereits informiert haben, oder Fragen stellen wie: Sind die Energiekosten gestiegen und warum? Gibt es technische oder organisatorische Probleme mit dem thermischen System, z.B. mit den Behörden, Nachbarn oder den Energieversorgungsunternehmen? Wer ist für die Wartung zuständig? Wie alt ist der Heizkessel? Gibt es zeitliche oder finanzielle Engpässe, fehlt spezielles Know-how? Wie sehen die Zukunftspläne aus? Wer wäre verantwortlich für ein eventuell zustande kommendes Projekt?

Für die Präsentation des EINSTEIN Tools können Sie die EINSTEIN Roadshow, die EINSTEIN Werbebroschüre und die technische Broschüre (im EINSTEIN Toolkit enthalten) verwenden. Zeigen Sie aber – falls bereits vorhanden – auch erste Ergebnisse ihrer „Quick&Dirty“-Studie.

Einige allgemeine Tipps:

- Beginnen Sie das Gespräch mit Informationen, die Sie auf der Internetseite gefunden haben, oder sagen Sie „Interessante Homepage, wer ist dafür zuständig …?“
- Antworten Sie nie sofort auf Einwände, sondern fragen Sie zuerst nach, ob Sie richtig verstanden haben, notieren Sie sich die Frage und denken Sie darüber nach. Versuchen Sie, weitere Vorteile zu finden.
- Stellen Sie viele offene Fragen, damit Sie soviel Information wie möglich sammeln können.
- Halten Sie keine Monologe. Präsentieren Sie nur präzise und knappe Informationen über die wichtigsten Vorteile für das Unternehmen.

EINSTEIN Schritt 1: Erste Kontaktaufnahme: Informieren und motivieren

> Werbematerial

> Möglichkeit zur Selbsteinschätzung

3.2 Datenbeschaffung vor dem Audit

Bevor Sie mit einem Energie-Audit in einem Betrieb beginnen (was üblicherweise einen Vertragsabschluss zwischen dem Unternehmen und dem Auditor/der Auditorin erfordert) sollten Sie einige vorläufige Informationen sammeln. Diese Vorab-Informationen können Ihnen dabei helfen, zu entscheiden, ob es sich lohnt, den Audit-Prozess durchzuführen.

Dabei können Sie für sich selbst und das Unternehmen Zeit sparen, wenn Sie *vor* einem Besuch oder einer detaillierten Telefonbefragung erklären, welche Daten Sie vorab benötigen. Außerdem erhöhen Sie dadurch Ihre Chancen auf vollständige und detaillierte Daten.

Oft wird es für eine Überschlagsbewertung und erste Ideen für mögliche Einsparungsmaßnahmen ausreichen, Daten über das Telefon abzufragen.

3.2.1 Vorbereitung des Unternehmens

Die nachstehende Liste hilft Ihnen, das Unternehmen auf die Art der Daten, die für Sie gesammelt werden sollen, vorzubereiten.

- Allgemeine Unternehmenssituation:

  - wirtschaftliche Situation (früher und jetzt)
  - Zukunftsaussichten (Entwicklung des Produktionsvolumens, andere wichtige Änderungen oder Projekte)

- Brennstoff- und Stromrechnungen:
  - Verschaffen Sie sich einen quantitativen Überblick über den derzeitigen Energieverbrauch und die Preise.
  - historische Daten aus vorangegangenen Jahren – falls verfügbar
  - monatliche Daten – falls verfügbar, oder qualitative Information über eine eventuelle jahreszeitliche Abhängigkeit des Energiebedarfs

- Beschreibung des Produktionsprozesses (Ablaufdiagramm):

  - Welche Produktionsgänge gibt es im Unternehmen?
  - Welche Produktflüsse und unterschiedlichen Prozessschritte gibt es?

- Beschreibung der einzelnen Prozesse:

  - Welche der Prozesse erfordern Wärme- oder Kältezufuhr?
  - Welche Produktmengen werden verarbeitet?
  - Welche Temperaturniveaus werden verwendet (in der Wärmeversorgung, im Prozess selbst)?
  - Wie oft erfolgt der Prozess und wie lange dauert er?

- Beschreibung des Wärme- und Kälteversorgungssystems

  - technische Daten der Anlagen (Heizkessel, Kältemaschinen, etc.)
  - Temperatur- und Druckniveaus im Heizsystem und in den Prozessen

- Beschreibung der Gebäude, Produktionshallen und Lager:

  - Daten über den Verbrauch für Raumheizung und -kühlung, falls verfügbar
  - Betriebsfläche, Gebäudenutzung

Diese Vor-Audit-Checkliste ist im EINSTEIN Tool-Kit enthalten und kann dem Unternehmen vorab zugesandt werden. Falls Sie sich für einen vorbereitenden Erst-Besuch entscheiden, könnten sie diesen nutzen, um die oben stehende Information, sofern verfügbar, zu ermitteln. Eine kurze Begehung könnte zu diesem Zeitpunkt ebenfalls sinnvoll sein.

3.2.2 Vorbereitung des Auditors/der Auditorin

Üblicherweise sind EINSTEIN AuditorInnen Fachleute für Energiesysteme (Wärme- und Kälteversorgung), aber sie können nicht ExpertInnen für die verschiedensten Industriesparten sein, mit denen sie zu tun haben werden. Trotzdem ist es wichtig, sich ein Grundwissen über sektorspezifische Probleme anzueignen, am besten bevor Sie mit dem Unternehmen Kontakt aufnehmen, oder spätestens bevor Sie sich zum ersten Mal vor Ort begeben.

Es gibt zu fast allen Industriebereichen und -sparten sehr viel Information, aber oft ist es nicht leicht und zeitaufwändig, Zugang zu den richtigen Informationen zu bekommen.

Hier verhilft Ihnen das EINSTEIN Toolkit mit nützlichen Links einfach und schnell zu grundlegender Information über die meisten Sparten. Dieses Grundwissen können Sie dann je nach verfügbarer Zeit und Bedürfnissen über eine Vielzahl von Weblinks und Bibliographien in der Zusatzdokumentation vertiefen.

Über die folgenden Themen sollten Sie als AuditorIn informiert sein:

- Welches sind die wichtigsten Prozesse im Hinblick auf den Energieverbrauch in einem typischen Unternehmen dieser Branche oder mit diesem Gebäudetypus?
- Wie sehen die bestehenden Prozesstechnologieoptionen (Beste Verfügbare Technik – BAT) aus und was sind ihre jeweiligen Vor- und Nachteile?

3.2.3 Checkliste und Basisfragebogen zur Fern-Datenbeschaffung

Die EINSTEIN Audit-Methode verwendet eine Checkliste (siehe Abschnitt 4.1) und/oder einen Basisfragebogen zur Datenbeschaffung, der im Nachhinein mit Detailinformation ergänzt werden kann („detaillierte Anhänge"). Diese Checkliste und den Fragebogen können Sie gemeinsam mit dem erklärenden Text an das Unternehmen schicken damit er dort von TechnikerInnen ausgefüllt werden kann. Der Fragebogen ist sowohl als Druckversion, als auch in elektronischem Format verfügbar (siehe Anhang). Idealerweise sollten Unternehmen den Fragebogen elektronisch ausfüllen, so dass die Daten automatisch in die EINSTEIN Software importiert werden können.

Sie sollten bedenken, dass eine erste halbautomatische Grobeinschätzung schon mit sehr wenigen Daten durchgeführt werden kann – allerdings wird die Zuverlässigkeit der Analyse und der darauf beruhenden Empfehlungen üblicherweise immer besser, je vollständiger die Daten sind.

Wenn Sie unvollständige Daten in die EINSTEIN Software eingeben, so versucht die Software, fehlende Parameter so weit wie möglich abzuschätzen, führt die möglichen Berechnungen mit der verfügbaren Information durch und generiert eine Checkliste mit den wichtigsten Daten, die ein/e AuditorIn erfragen sollte (siehe Beschreibung unter „Datenüberprüfung" im Benutzerhandbuch).

EINSTEIN Schritt 2: Datenbeschaffung vor dem Audit

> Vorbereitung des Unternehmens

> Vorbereitung der BeraterInnen

> Grunddatenbeschaffung aus der Ferne

3.3 Vorbereitung des Audits: Verarbeitung vorläufiger Informationen

3.3.1 Verarbeitung der vorläufigen Daten

Mit der EINSTEIN Software kann eine einfache Überprüfung der vom Unternehmen gelieferten Daten durchgeführt werden. Nach der Dateneingabe werden automatisch Statistiken über Energiebedarf und -versorgung generiert, die Informationen evaluiert und die Daten auf ihre Konsistenz geprüft.

In dieser Phase der Verarbeitung vorläufiger Daten können folgende Informationen gewonnen werden:

- eine Liste inkonsistenter Daten (z.B. wird ein Brennstoff angeführt, der in keiner der Anlagen verwendet wird, …)

- eine Liste notwendiger fehlender Daten, die weder errechnet noch aus anderer verfügbarer Information abgeleitet werden können.

3.3.2 Vervollständigung der Informationen durch Telefonabfragen oder E-Mail

Wenn bei der Verarbeitung der vorläufigen Daten festgestellt wird, dass die Daten sehr inkonsistent sind oder dass grundlegende und für eine Grobanalyse unentbehrliche Daten fehlen, können in einem Telefongespräch oder per E-Mail mit dem Unternehmen zusätzliche Daten erfragt oder Unklarheiten beseitigt werden. Nach einer Änderung der Grunddaten sollte die Datenüberprüfung (s. voriges Kapitel) wiederholt werden.

Nach diesem Schritt sollten zumindest folgende Informationen zur Verfügung stehen:

- Hauptprodukte und Produktmengen
- Gesamtenergieverbrauch für thermische Zwecke im Unternehmen
- Prozesse, die am meisten Wärme- oder Kälte verbrauchen, und zumindest eine grobe Schätzung des Energieverbrauchs jedes dieser Prozesse.
- wichtigste Heiz- und Kühlanlagen und zumindest deren Nennleistung; ein grober Plan der Wärme- und Kälteverteilungssysteme (welcher Heizkessel beheizt welchen Prozess, etc.)
- Temperaturniveaus in der Wärmeversorgung und in den wichtigsten wärmeverbrauchenden Prozessen

3.3.3 Beschaffung von Vergleichsdaten

Wir haben nun schon einige detailliertere Informationen zum Unternehmen, den Prozessen und den Produkten und können dazu Vergleichswerte (Benchmarks) aus ähnlichen Betrieben besorgen.

Die folgenden Quellen sind dafür geeignet:

- Die EINSTEIN Software beinhaltet eine Benchmark-Datenbank, in der Sie schnell Vergleichswerte aus den verschiedensten Sparten finden können.

- Weitere Informationen finden sich in den Dokumenten, die im EINSTEIN Bericht (Review of thermal Energy Auditing Practices and Tools) angeführt sind (Vannoni, C., et.al. (2008))

Details zum Thema Benchmarking finden Sie im Kapitel 3.6.5

Referenzen Kapitel 3.3.3:

C.Vannoni et al (2008): EINSTEIN Report: Review of thermal Energy Auditing Practices and Tools, IEE Project EINSTEIN, Project deliverable D2.2. Available for download on www.einstein-energy.net

3.3.4 Aneignen von Grundwissen über die spezifische Branche sowie dem Unternehmenstypus

Mit dem Informationsstand, den Sie nun über die Branche oder Unternehmenstyp haben, können Sie Ihr Wissen über die speziellen Prozesstypen und Anlagen, die Ihnen im Laufe des Audits dort begegnen werden, vertiefen, wie in Abschnitt 3.2.2. beschrieben.

- Informieren Sie sich über die eingesetzten Anlagen und mögliche technologische Alternativen.
- Informieren Sie sich über die eingesetzten Energieversorgungsanlagen und -systeme und mögliche technische Alternativen.

3.3.5 Erkennen möglicher Maßnahmen

Mit den Informationen, die Ihnen nun zum Unternehmen zur Verfügung stehen, können Sie möglicherweise schon einen vollständigen Audit-Zyklus von der Datenbeschaffung bis zur Entwicklung eines Lösungsvorschlags durchführen.

Auch wenn die Daten noch sehr unvollständig und damit die zu erwartenden Ergebnisse noch nicht sehr präzise sein werden, sollten Sie Maßnahmenvorschläge machen, damit Sie einen ersten Eindruck von der Größenordnung der möglichen Einsparungen, den potenziell erforderlichen Investitionen usw. bekommen. Dies kann für eine erste Besprechung mit dem Unternehmen während des Audits sehr hilfreich sein.

Sie benötigen dafür auch nicht viel Zeit, denn die EINSTEIN Software wird das (fast) vollautomatisch für Sie erledigen.

Wenn Sie mögliche Verbesserungen analysieren, sollten Sie auch das verfügbare Dokumentationsmaterial über die beste verfügbare Technologie (BVT) und die Problemstellungen dieser Sparte zu Rate ziehen. Das EINSTEIN Toolkit verschafft Ihnen einfachen Zugang zu diesen Informationen.

3.3.6 Prioritätenliste für weitere Erkundigungen und Datenbeschaffung

Wenn Sie ein *Schnell-Audit* durchführen möchten, sollten Sie sich auf das Wesentliche konzentrieren. Wenn Sie ein qualitativ hochwertiges Audit durchführen möchten, sollten Sie nicht auf wichtige Daten verzichten. Manchmal können diese beiden Zielsetzungen sich gegenseitig ausschließen. Deshalb sollten Sie, sobald Sie wissen, was Sie dem Unternehmen vorschlagen möchten, eine Prioritätenliste jener Informationen erstellen, nach denen Sie während des Audits vorrangig suchen wollen und auf die Sie bestehen sollten, auch wenn der Zugang zu diesen Informationen möglicherweise schwierig ist.

Nach dem Audit sollten Sie alle Informationen haben, um die Umsetzbarkeit der technologischen Lösungen, die Sie vorschlagen oder ausscheiden, einschätzen zu können. Gleichzeitig sollten Sie keine überflüssigen Daten sammeln, besonders dann nicht, wenn sie schwierig zu beschaffen sind. Wenn Sie zum Beispiel ein Solarthermiesystem für die Erzeugung von Prozesswärme vorschlagen möchten, dann *müssen* Sie alle Informationen zu erhältlichen Dach- und Bodenkollektoren, möglichen Beschattungsproblemen, Details zu Dachstrukturen, usw. sammeln, um diese Technologie beurteilen zu können. Wenn jedoch die wahrscheinlichere Lösung ein Wärmetauscher zur Verbesserung der Wärmerückgewinnung in einem speziellen Prozess ist, dann ist es nicht zu empfehlen, das Unternehmen mit architektonischen Plänen über Dachdetails zu befassen … Genauso wenig wird es sich lohnen, Unmengen technischer Details zu einem Prozess zu erfragen, der nur 0,3 % des Gesamtenergiebedarfs verbraucht.

EINSTEIN Schritt 3: Vorbereitung des Audits. Verarbeitung der vorläufigen Daten

> Verarbeiten der vorläufigen Daten

> Anruf im Unternehmen zur Datenüberprüfung

> Vergleich mit Benchmarks

> Aneignen von Wissen über spezielle Prozesse/Unternehmen

> Ermittlung möglicher Maßnahmen

> Festlegen der Prioritäten für das Audit

3.4 „Quick&Dirty"-Vorevaluierung

Auf Basis der Verarbeitung der vorläufigen Daten kann ein erster „Quick&Dirty"-Vorevaluierungsbericht erstellt werden. Dieser Bericht sollte Folgendes beinhalten:

- eine Aufzählung der Prozesse mit dem größten Wärme- oder Kälteverbrauch und ihres ungefähren quantitativen Energieverbrauchs.
- eine erste quantitative Analyse des Wärme- und Kältebedarfs nach Temperaturniveaus und Betriebszeiten; kumulierte Wärmebedarfskurven

und auf Basis dieser Analyse des Wärme- und Kältebedarfs außerdem:

- eine Aufzählung technischer Optionen für effiziente Wärme- und Kälteversorgung
- Angaben zur ungefähren Dimensionierung der erforderlichen Anlagen
- eine Schätzung der zu erwartenden energetischen und wirtschaftlichen Leistung

Dieser erste Entwurf der möglichen Optionen für das Unternehmen kann sowohl dem/der AuditorIn, als auch dem Unternehmen helfen, sich ab diesem Zeitpunkt auf die spezifischen Informationen zu konzentrieren, die für die Bewertung jener technologischen Optionen, die am vielversprechendsten sind, erforderlich sind.

3.4.1 Wie wird der „Quick&Dirty"-Vorevaluierungsbericht erstellt ?

Der EINSTEIN "Quick&Dirty"-Vorevaluierungsbericht kann mit der „Berichtsfunktion" der EINSTEIN Software automatisch erstellt werden (Option: Bericht erstellen).

Die Verlässlichkeit der Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der von der EINSTEIN Software vorgeschlagenen Systeme ist natürlich abhängig von der Genauigkeit der Daten über die Anlagen- und Subsystemkosten, die zuvor in die entsprechenden Datenbanken eingegeben wurden. Diese Daten können je nach lokalen und nationalen Bedingungen stark variieren und die vorgegebenen Standardwerte sollten nur als Richtwerte verstanden werden.

3.4.2 Versprechen Sie am Anfang nicht zu viel!

Wie bereits erwähnt, kann eine Präsentation dieses ersten Vorevaluierungsberichts sehr hilfreich sein, wenn Sie das Unternehmen über mögliche Lösungen und die erforderlichen Schritte informieren. Schätzwerte aus der Vor-Evaluierung können TechnikerInnen oder BetriebsleiterInnen helfen, das Management davon zu überzeugen, mit dem Audit fortzufahren und eine genauere Analyse durchführen zu lassen oder um Förderungen anzusuchen.

Sie sollten sich aber davor hüten, zu detaillierte Daten (vor allem Daten über die Wirtschaftlichkeit) zu präsentieren, die noch nicht ausreichend abgesichert sind. Auf jeden Fall sollten Sie betonen, dass es sich bei den Zahlen, die Sie präsentieren, nur um grobe Schätzungen handelt, die sich in einer genaueren Analyse noch erheblich ändern können.

EINSTEIN Schritt 4: “Quick&Dirty”-Vorevaluierungsbericht

> Erstellung des Vorevaluierungsberichts

> Optional: Präsentation des Berichts im Unternehmen

3.5 Unternehmensbesichtigung (alternativ: zweite detaillierte Fern-Datenbeschaffung)

3.5.1 Optional: Präsentation und Besprechung der „Quick&Dirty“-Studie

Wenn Sie die vorläufigen Ergebnisse Ihrer ersten „Quick&Dirty”-Studie präsentieren möchten, dann ist der Anfang einer Unternehmensbesichtigung möglicherweise ein guter Zeitpunkt dafür. Sie können die Ergebnisse, die Sie bisher aus der Ferne gesammelt haben präsentieren, und Ihre ersten Schlüsse daraus erklären.

3.5.2 Befragungen und Betriebsbesichtigung zur Beschaffung von Detaildaten

3.5.2.1 Datenbeschaffung im Büro

Gleich nach Ihrem Eintreffen in einem Unternehmen, sollten Sie sich selbst und Ihr Angebot für das Unternehmen im Büro vorstellen und grundlegende Informationen sammeln. Idealerweise sollte bei diesem ersten Treffen auch schon technisches Personal des Unternehmens dabei sein, das die technischen Details der Prozesse und Anlagen im Betrieb kennt.

Um das Gespräch zu strukturieren, können Sie dem Aufbau des EINSTEIN Basisfragebogens oder der EINSTEIN Datencheckliste folgen (Sie sollten einen eventuell mit den gesammelten Daten vorausgefüllten Ausdruck des Fragebogens dabei haben) und folgende Informationen abfragen:

- *Allgemeine Informationen* zum Unternehmen: Was und wie viel wird produziert? Wie sieht der Produktionsprozess aus? Kennzahlen (Umsatz, Energieverbrauch, Personalstand); Schichtzeiten; Urlaubszeiten; … In diesem Zusammenhang sollten Sie unbedingt auch Informationen über die Zukunftspläne des Unternehmens einholen: Gibt es Ausbaupläne, die die Bedarfszahlen völlig verändern könnten oder, im Gegenteil, besteht das Risiko, dass einzelne Produktionszweige oder gar die gesamte Produktion aufgrund von Wettbewerbsdruck geschlossen wird?

- *Brennstoff- und Stromrechnungen:* Versuchen Sie, Informationen über mehrere Jahre zu bekommen und wenn möglich Detailinformationen über die Anteile einzelner Anlagen/ Prozesse/ Produktionsgänge an den Gesamtkosten.

- *Daten zu den Prozessen:* In vielen Betrieben ist nur der Gesamtenergieverbrauch bekannt, nicht jedoch dessen Verteilung auf die einzelnen Prozesse. Genaue Informationen über die Prozesse sind deshalb oft der einzige Anhaltspunkt, etwas über die Verteilung des Wärmebedarfs zu erfahren (Mögliche Wege, wie Sie an diese Informationen kommen, werden in Abbildung 19 aufgezeigt). Sie sollten ein allgemeines Verständnis für die einzelnen Prozesse entwickeln und die Betriebszeiten und Prozesstemperaturen in Erfahrung bringen.

Des Weiteren sollten Sie zusätzliche Informationen zu den unterschiedlichen Komponenten sammeln, die zum Prozesswärmebedarf beitragen:

- ein- und ausströmende Volumina oder Massen und Temperaturniveaus (Eintritt/Austritt)

- Massen oder Volumina die bei Inbetriebnahme eines Prozesses erhitzt (gekühlt) werden müssen, Anzahl der Schaltzyklen oder Unterbrechungen und Ausgangstemperatur von der aus die Anlage erwärmt (abgekühlt) werden muss.

-thermische Verluste der Prozessanlagen im Betrieb: Jene Leistung, die zur Erhaltung der Prozesstemperatur erforderlich ist. Dieser Wert kann sich aus dem Energiebedarf für den Ausgleich thermischer Verluste, für Phasenänderung der Arbeitsmedien (Kochen, Trocknen) oder Leistungsbedarf für chemische Reaktionen zusammensetzen. Diese Werte sind oft am schwersten zu bestimmen, denn meist sind zum Beispiel die Koeffizienten für thermische Verluste der Anlagen nicht bekannt. Allerdings können Sie manches indirekt ableiten und berechnen: Wenn Sie zum Beispiel wissen, dass die Anlage nach einer gewissen Zeit Δt (z.B. in der Nacht) von einer bestimmten Prozesstemperatur T_P auf eine bestimmte Endtemperatur T' abkühlt, können Sie den Koeffizienten für thermische Verluste abschätzen, oder auf Basis der Größe der Anlage und der Dicke der Isolierung errechnen; bei Trocknungsprozessen lässt sich aus der Differenz der Feuchte im nassen und im trockenen Produkt die Wärmemenge ableiten, die für die Verdampfung zugeführt werden muss; …

In der EINSTEIN Software finden sie einige Hilfsfunktionen für diese Art der Hilfsberechnungen für die häufigsten Fälle.

- *Daten zu Wärme- und Kälteversorgungsanlagen:* Erstellen Sie eine Liste der bestehenden Anlagen mit den wichtigsten technischen Daten (inkl. Alter und Zustand, um entscheiden zu können ob es sinnvoll ist, einen Austausch vorzuschlagen); Versuchen Sie zusätzlich zur *Nennleistung* zumindest ungefähre Angaben zur *Energie* (Wärme oder Kälte), die die Anlage produziert (Betriebszeit, Teillastfaktor), zu bekommen, auch wenn es nur qualitative Angaben sind wie „Wir verwenden die Anlage nur einige Stunden im Jahr, sie dient vor allem als Ersatz" oder "die beiden Heizkessel arbeiten fast immer mit Volllast und manchmal haben wir zu wenig Dampf ..." und vergessen Sie nicht, ein Blockdiagramm zu erstellen, das aufzeigt, welche Anlage welchen Prozess mit Wärme oder Kälte versorgt.

- *Daten zu Wärme- und Kälteverteilung und -speicherung:* Länge und Durchmesser von Rohren und Leitungen; Temperatur- und Druckniveaus und Durchflussraten; Versuchen Sie wenn irgendwie möglich diese Daten aufzutreiben, damit Sie sich ein möglichst genaues Bild des Verbrauchs im Betrieb machen können; Versuchen Sie auch herauszufinden, wo und wie Wärme/Kälte gespeichert wird (Volumen, Temperatur- und Druckniveaus, Isolierung).

- *bestehende Wärmerückgewinnungssysteme:* Verzeichnen Sie bestehende Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung, inklusive ihrer technischen Daten und den (typischen) realen Betriebsbedingungen (Durchflussraten und Temperaturen auf der warmen und der kalten Seite)

- *erneuerbare Energien:* Halten Sie Ausschau nach verfügbaren Flächen (Dach- oder Bodenflächen) für den Einsatz von Solarthermie (Größe, Ausrichtung, statische Belastbarkeit des Daches, Entfernung vom Maschinenraum und / oder den Prozessen); Beurteilen Sie die Verfügbarkeit von Biomasse oder Biogas (sowohl Biomasse, die in der Produktion selbst anfällt, als auch Biomasse von Lieferanten der Umgebung); Bestehen neben finanziellen Einsparungen noch weitere Motivationen, erneuerbare Energien einzusetzen?

- *Gebäudeheizungs- und -kühlungsbedarf:* Der Heiz- und Kühlbedarf für die Betriebsgebäude kann in manchen Unternehmen einen wichtigen Anteil des Gesamtbedarfs ausmachen; erstellen Sie eine Liste der bestehenden Gebäude und der eingesetzten Heiz- und Kühlsysteme, Temperaturniveaus und Einsatzzeiten; Wenn möglich sollten Sie auch Pläne der Gebäude erbitten.

- *wirtschaftliche und finanzielle Parameter:* Wie hoch sind die Betriebs- und Wartungskosten des Unternehmens (zusätzlich zu den Energierechnungen)? Wie werden Investitionen in das Energieversorgungssystem finanziert (intern, extern)? Welche Anforderungen bestehen bezüglich Amortisierung und Ertrag?

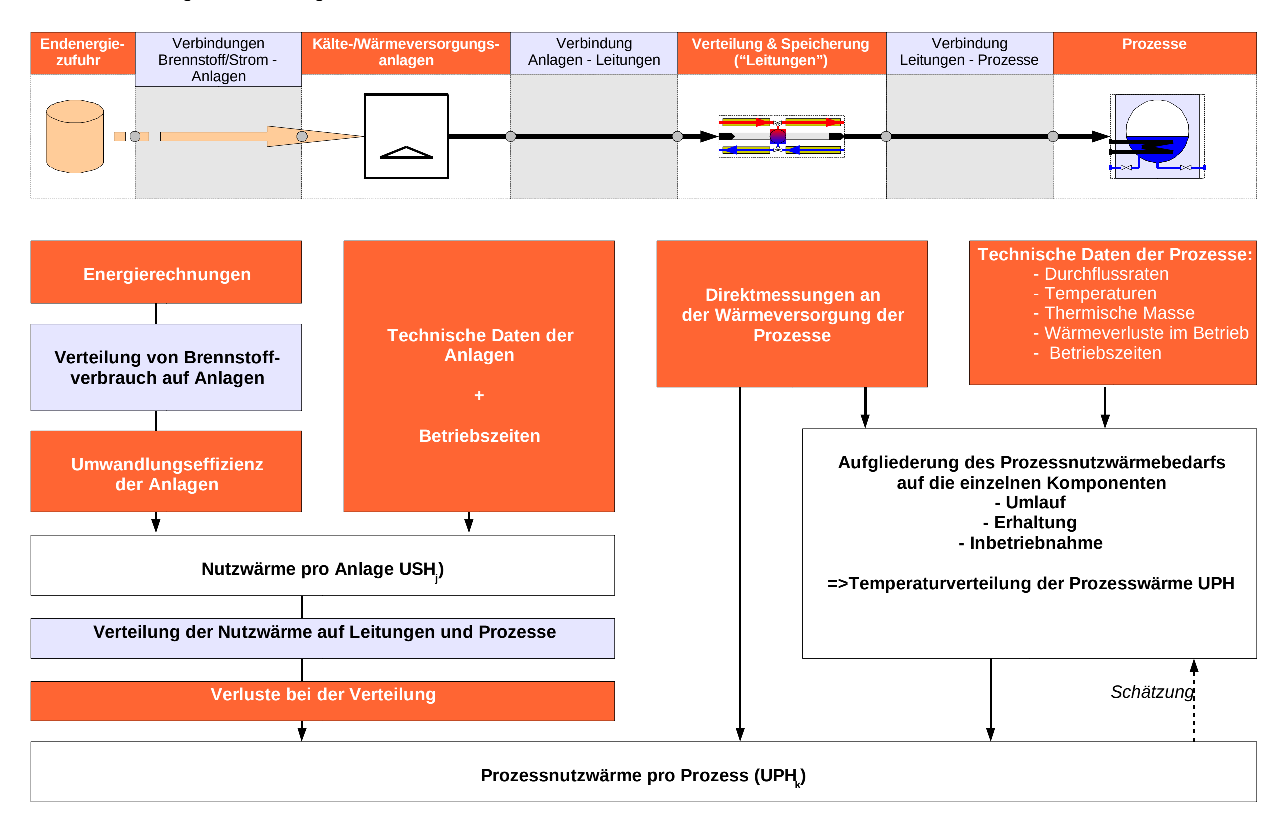


Abbildung 19: Methoden zur Datenbeschaffung über den Wärme- und Kältebedarf der einzelnen Prozesse

Diese einzelnen Datenblöcke sollten Sie als eine Art mentale Checklist im Kopf (aber idealerweise auch auf Papier) haben, so dass Sie das Firmengelände nicht verlassen, ohne alle wichtigen Fragen gestellt zu haben. Sehr oft wird das Gespräch aber nicht Ihrer (vorbereiteten) Struktur folgen, meistens werden Sie die Informationen nach und nach in einem unstrukturierten und informellen Gespräch bekommen.

Um trotzdem den Überblick zu bewahren, sollten Sie Ihre Notizen bereits während Ihres Besuchs strukturieren und nach den oben genannten Blöcken gruppieren. Nach einer halben oder vollen Stunde informellen Gesprächs, in dem Sie viel über die einzelnen Prozesse und Anlagen, aber auch über die Familie des Wartungstechnikers und die Probleme der Eigentümerin mit Konkurrenzunternehmen erfahren haben, können Sie so immer noch Ihr Ziel verfolgen und rasch überprüfen, ob Sie alle erforderlichen Daten haben, oder ob noch etwas Wichtiges fehlt (und wenn ja, was).

3.5.2.2 Betriebsbegehung

Wenn Sie den Eindruck haben, im Büro alle verfügbaren Informationen bekommen zu haben, lassen Sie sich zu einem Rundgang durch den Betrieb einladen. Vergewissern Sie sich, dass Sie zumindest alle relevanten Prozesse und die Wärmeversorgungsanlagen zu sehen bekommen. Wenn möglich sollten Sie eine Digitalkamera dabei haben und Fotos machen, mithilfe derer Sie sich im Nachhinein besser an Details erinnern werden.

Nutzen Sie die Begehung, um Ihr Verständnis für die Funktionsweise der einzelnen Prozesse zu vertiefen und stellen Sie alle Detailfragen, an die Sie während des Gesprächs im Büro nicht gedacht haben.

Versuchen Sie, mögliche Probleme zu antizipieren, die bei einer Veränderung des Systems wie Sie sie vielleicht schon im Kopf haben, auftreten könnten:

- mögliche Anschlüsse für Wärme- und Kälteverteilungsleitungen oder -anlagen
- verfügbarer Platz für neue Speicheranlagen

Wenn Sie im Büro nur mit technischem Personal gesprochen haben, sollten Sie während des Rundgangs versuchen, sich mit dem Wartungspersonal zu unterhalten, das Ihnen wertvolle Informationen über die alltägliche Praxis geben kann (Stellen Sie z.B. Fragen wie: „Wenn Sie morgens in die Firma kommen, wie warm ist dann dieser Speicherbehälter?" …).

3.5.3 Schnelle Vor-Ort-Überprüfung der Daten auf Konsistenz und Vollständigkeit

Wenn Sie während des Gesprächs bereits Daten in die EINSTEIN Software eingeben konnten, können Sie mit der Option "Datenüberprüfung" überprüfen

a) ob die Daten konsistent sind, oder ob es Widersprüche gibt (z.B. unterschiedliche Einheiten)

b) ob und welche relevanten Daten fehlen, damit Sie explizit diese Daten erfragen können.

c) Vielleicht haben Sie aber auch schon ausreichende Informationen und können das automatische Tool zur Vorschlagserarbeitung starten, um Ansatzpunkte zur Größenordnung möglicher alternativer Versorgungssysteme zu bekommen. (Wenn Sie z.B. wissen, wie viel zusätzliches Speichervolumen für ein bestimmtes System erforderlich wäre, können Sie bereits beim Rundgang kontrollieren, ob Platz dafür zur Verfügung stünde...).

3.5.4 Messungen während der Besichtigung

Für viele Produktionsprozesse ist zwar auf Basis der Rechnungen der Energieversorgungsunternehmen der jährliche (und oft auch der monatliche) Gesamtenergiebedarf bekannt, aber der Bedarf kann nicht den einzelnen Anlagen und Prozessen zugeordnet werden. Dieses Wissen – zumindest für einige wichtige Prozesse und die wesentlichen Wärme- und Kälteversorgungsanlagen – ist aber für die Anwendung der EINSTEIN Methode notwendig.

Daten von Vor-Ort-Messungen des Unternehmens selbst können bei der Analyse der Energieprofile im Detail inklusive des Energieverbrauchs und der Abwärmeverfügbarkeitszeiten hilfreich sein. Deshalb ist es wichtig, gemeinsam mit dem Unternehmen durchzugehen, welche Werte bereits überwacht werden und welche Datenkombination für eine Analyse der Energieflüsse herangezogen werden kann.

In vielen Unternehmen wird es notwendig sein, zusätzliche Messungen durchzuführen, um den bestehenden Datenmangel zu beseitigen. Je nach der Variabilität der Prozesse können einige Messungen schon während des ersten Besuchs im Unternehmen durchgeführt werden. Folgende Messungen für die Berechnung der Wärme- und Kälteflüsse können schnell und einfach während der Besichtigung durchgeführt werden:

Temperaturmessungen

Mit Infrarotpistolen können an (nicht-isolierten) Behältern und Rohren Messungen durchgeführt werden, die Rückschlüsse auf die Temperaturen während des Betriebs erlauben. Sollte die Prozesstemperatur schnellen Veränderungen unterworfen sein, so lassen sich Thermoelemente mit Datenschreibern schnell installieren, die die Daten während der Besichtigung speichern. Auf Basis von Temperaturmessungen an isolierten Behältern oder Rohren können Wärmeverluste berechnet werden.

Wenn der Massenfluss in Rohren (Wärmeversorgungsflüsse, Produktströme oder Kälteversorgungsflüsse) bekannt ist, kann die Messung der Vor- und Rücklauftemperatur am Rohr über einige Stunden schon ausreichende Informationen für die Berechnung der Wärme oder Kälte, die über das Rohr zugeführt wird, liefern.

Massenflussmessungen

Kontaktfreie Messungen von Wasser-/Medienflüssen z.B. mithilfe von Ultraschallgeräten können einfach und ohne in den Prozess einzugreifen, durchgeführt werden. In Kombination mit Temperaturmessungen können daraus rasch die Energieflüsse errechnet werden. Bedenken Sie aber bitte, dass kurzfristige Messungen (z.B. über einige Stunden) nur einen Abschnitt der Gesamtproduktion reflektieren, und zwar besonders dann, wenn die Produktionsabläufe sehr zeitabhängig sind.

Energieflüsse können entweder auf der Primärseite der Energiezufuhr (z.B. Warmwasser, Kondensatleitung), oder auf der Sekundärseite (Prozessmedium) gemessen werden. Die Wahl ist üblicherweise von der Verfügbarkeit der möglichen Messpunkte abhängig (Zugang zu den Leitungen, Isolierung, Zustand der Leitungen, Regelung, etc.). Eine kurze (nicht erschöpfende) Liste der möglichen Messungen kann dem Unternehmen als Anhaltspunkt für mögliche Messpunkte dienen:

1. *Messungen auf Prozessmedium-Seite („Sekundärseite“):*

   - Messungen am *Prozessmedium* (Wasser, Luft, Produktflüsse), das im Prozess erwärmt wird
   - Messungen am Frischwasser, das einem Behälter zugeführt wird und kontinuierlich auf einer bestimmten Temperatur gehalten wird (z.B. in Waschanlagen)

2. *Messungen auf der Wärmeversorgungsseite („Primärseite“):*

   - Messungen an der Warmwasserzuleitung und Temperaturmessungen vor und nach dem Wärmetauscher (bei indirekter Energieversorgung).
   - Messungen an der Warmwasserzuleitung und der Temperatur des Warmwassers (bei direkter Energieversorgung)
   - Messungen an der Kondensatleitung eines Prozesses (oder mehrerer Prozesse, wenn das Regelschema so gestaltet ist, dass die Messdaten danach den einzelnen Prozessen zugeordnet werden können)
   - Messungen am Frischwasser, das in das Dampfzufuhrsystem eingeleitet wird (zur Bestimmung der Energie, die als Direktdampf verwendet wird)

3.5.5 Messprogramm für das Unternehmen

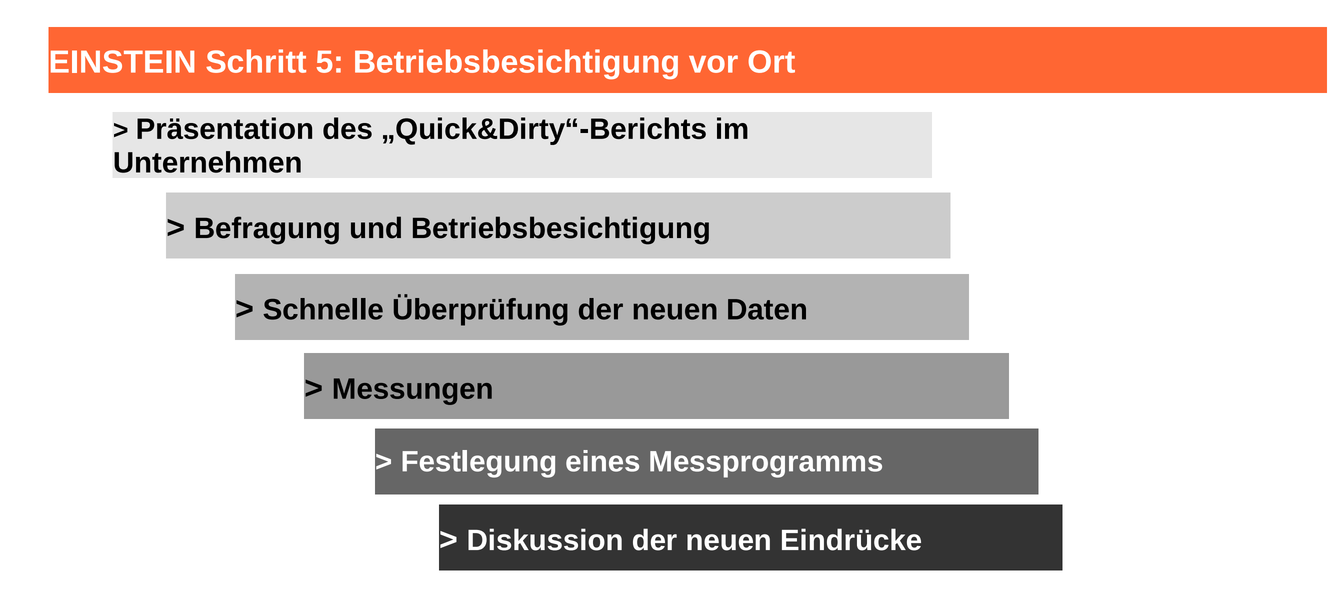
Wenn Sie feststellen, dass Informationen fehlen, die nicht sofort durch Vor-Ort-Messungen beschafft werden können, können Sie dem Unternehmen „Hausaufgaben“ geben:

- Aufzeichnungen der Temperaturen, Druckverhältnisse und Zählerstände bestehender Sensoren in periodischen Intervallen
- Sie können auch ein Messgerät, das Sie mitgebracht haben, vor Ort lassen und MitarbeiterInnen bitten, die Messergebnisse über einen gewissen Zeitraum aufzuzeichnen.
- Sie können einige einfache „Versuche“ definieren, die dann von MitarbeiterInnen durchgeführt werden sollen (z.B. die Aufwärm- und Abkühlkurven bestimmter Anlagen zu ermitteln, …).

3.5.6 Besprechen der Eindrücke aus der Besichtigung

Nach dem Besuch sollten Sie dem Unternehmen Ihre Eindrücke mitteilen und erklären, wie Sie fortzufahren planen:

- Definieren und entscheiden Sie gemeinsam mit dem Unternehmen, welche möglichen Maßnahmen Sie im Detail analysieren wollen und welche Optionen von vornherein ausgeschlossen werden sollen.
- Legen Sie einen Zeitplan für weitere Schritte fest: Frist für die Übermittlung zusätzlicher Informationen durch das Unternehmen; Frist für die Abgabe des Audit-Berichts.



3.6 Analyse des Ist-Zustandes

3.6.1 Überprüfung der Daten auf Konsistenz und Vollständigkeit

Am Beginn der Ermittlung weiterer Energiesparmaßnahmen für ein Unternehmen steht eine systematische Analyse des Ist-Zustandes. Für die Aufgliederung des Gesamtenergieverbrauchs in verschiedene Komponenten und die Definition der wichtigsten Energieflüsse, -quellen und -senken bedarf es jedoch in der Regel einer relativ großen Datenmenge. Außerdem beeinflussen die Quantität, die Genauigkeit und die Konsistenz der verfügbaren Daten die Verlässlichkeit der Beurteilung der vorgeschlagenen Alternativlösungen in bedeutendem Maße.

Wie schon im vorigen Abschnitt angesprochen gibt es oft mehrere Arten, dieselbe Information zu gewinnen. Einige Beispiele (vgl. auch Abbildung 19):

- Der Brennstoffverbrauch eines Unternehmens kann direkt in Form von Energie angegeben werden. Alternativ kann er jedoch auch in Form der Menge an verbrauchtem Brennstoff (in m^3, Liter usw.) vorliegen. In diesem Fall kann man den Energieverbrauch mit Hilfe des H_i des Brennstoffs errechnen.
- Die von einem Warmwasserkessel erzeugte Wärme kann entweder anhand des Brennstoff- oder des Warmwasserverbrauchs ermittelt werden. Außerdem könnte sogar ein Wärmemessgerät installiert sein, das die erzeugte Wärme direkt am Kesselausgang misst.

Beim Sammeln der Daten über den Ist-Zustand (derzeitiger Energiebedarf usw.) könnten Sie auf eines oder beide der folgenden Probleme stoßen:

- *Redundanz* der Informationen und eventuell *widersprüchliche* Daten: Redundanz besteht, wenn Sie – wie im obigen Beispiel – denselben Parameter auf zwei oder mehrere Arten berechnen können. Wenn alle Berechnungen zum selben Ergebnis führen, gibt es keine Probleme. Es wird vielmehr bestätigt, dass der errechnete Wert korrekt ist. Wenn die verschiedenen Berechnungsmethoden jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, dann stehen Sie vor dem Problem, dass Sie den richtigen Wert auswählen müssen. Welche Entscheidung Sie auch treffen, es könnte durchaus sein, dass Sie trotzdem beide Werte anzweifeln.

- *Mangelnde Informationen.* Es kann passieren, dass Ihnen nicht alle detaillierten Informationen, die Sie für eine genaue Berechnung berücksichtigen möchten, zur Verfügung stehen. So könnten Sie beispielsweise den Gesamtwärmebedarf (berechnet nach Brennstoffverbrauch) und die Verbrauchszahlen des Prozesses, der am meisten Wärme verbraucht, kennen, aber keine Information darüber haben, wie der restliche Verbrauch auf zwei andere kleine Prozesse aufgeteilt ist.

Will man sowohl die Redundanz als auch die Vollständigkeit der Daten eines komplexen Systems überprüfen, so kann das eine schwierige und zeitaufwendige Aufgabe darstellen. Üblicherweise stehen Ihnen folgende Instrumente dafür zur Verfügung:

a) *mathematische und physikalische Beziehungen* zwischen den Größen nach den Grundgesetzen der Physik (Energieerhaltung, zweiter Hauptsatz der Thermodynamik) und *physikalische Eigenschaften* der Materialien.

- *Energie- und Mengenbilanzen* über Anlagen und Untersysteme (Zufuhr = Ausstoß und Verluste). Effizienzparameter oder Massenstromverhältnisse müssen aufgrund der Energieerhaltungsgesetze oft zwischen 0 und 1 liegen.

- *Einschränkungen aufgrund des zweiten Hauptsatzes*: Wärme fließt nur von heiß nach kalt. Das könnte dabei behilflich sein, mögliche Höchst- und Tiefstwerte für gewisse Größen (z.B. Temperaturen) festzulegen.

- *physikalische Eigenschaften der Materialien*, vor allem von Flüssigkeiten und Brennstoffen. Zum Beispiel: Die von einer Flüssigkeit transportierte Energie steht in Zusammenhang mit dem Massenstrom und der spezifischen Enthalpiedifferenz zwischen Zu- und Rückfluss. Diese hängt von der spezifischen Wärmekapazität, sowie dem Dampfanteil und der latenten Verdampfungswärme (bei Phasenänderung) ab.

- die *Betriebszeiten* von Verfahren und Anlagen sind durch die Dauer eines Tages (24 Std.) und eines Jahres (8760 Std.), sowie durch die angegebenen Urlaubszeiten und Wochenenden eingeschränkt.

b) *technisches Fachwissen* über Normalwerte oder praktische Grenzen für gewisse Größen:

- Mathematisch gesehen muss der Wirkungsgrad eines Heizkessels zwischen 0 und 1 liegen (oder zwischen 0 und ca. 1,1, wenn H_i als Bezugsgröße dient). In der Praxis wird man jedoch nur selten auf einen Heizkessel mit einem so schlechten Wirkungsgrad wie 0,1 stoßen. Auch 0,999 wird in der Praxis nur selten erreicht werden. Ein praktischer Grenzwert für Nicht-Brennwertkessel liegt somit zwischen 0,7 und 0,95. Ähnliche Überlegungen können auch für die Verteilungseffizienz in Rohren und Leitungen angestellt werden.

- *Temperaturabfälle* in Wärmetauschern (LMTD – mittlerer logarithmischer Temperaturunterschied) müssen theoretisch (nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik) größer sein als 0 K. In der *technischen Praxis* ist dieser Grenzwert jedoch noch höher, bei 3-5 K für Wärmetauscher mit zwei flüssigen Medien und ca. 10 K für jene mit einem flüssigem und einem gasförmigen Medium oder zwei gasförmigen Medien. Ähnliche Überlegungen können für den Temperaturunterschied bei Hin- und Rückfluss in Flüssigkeitskreisläufen angestellt werden: Niemand würde einen Kreislauf so anlegen, dass die die Wärme transportierende Flüssigkeit mit einem so hohen Massenstrom zirkuliert, dass der Temperaturunterschied zwischen Hin- und Rückfluss lediglich 0,1 K betragen würde. Der praktische Grenzwert liegt hier ebenfalls bei ca. 1-2 K.

- *Wärmeverluste* mancher Prozessanlagen sind schwer genau zu ermitteln. Es gibt jedoch eine Obergrenze aufgrund der Gesamtoberfläche der Anlage (leicht anhand der Größe abzuschätzen) und aufgrund der Tatsache, dass die gesamte Wärmeübertragung (Wärmestrahlung + natürliche

Konvektion) von jedem nicht isolierten Körper und bei Temperaturen unter 100 ºC in geschlossenen Räumen unter ca. 8 W/m^2K und im Freien (inkl. Wind) 20 W/m^2K beträgt. Das trifft zu, wenn es keine zusätzlichen Verluste aufgrund von Phasenänderung oder chemischen Reaktionen (z.B. Sieden…) gibt.

- *Die Zeit für das Aufheizen oder Füllen/Leeren* von Verfahrensanlagen wird bei Batch-Prozessen selten mehr als 50% der gesamten Batchdauer oder bei kontinuierlichen Prozessen, die über Nacht abgeschaltet werden, selten länger als 2-3 Stunden betragen.

Während mathematische Grenzwerte eine klare und deutliche Beurteilung (ja/nein) darüber zulassen, ob ein Parameterwert (im Kontext des gesamten Datensatzes) möglich ist oder nicht, sind die Grenzwerte aus dem technischen Fachwissen in einem gewissen Ausmaß unscharf. Bei diesen technischen Einschränkungen unterscheiden wir bei EINSTEIN zwischen:

- *den praktischen Grenzwerten*: die weite Spanne von den (technisch gesehen) möglichen Werten, die 99,9% der praktischen Fälle betreffen und

- *der Spanne der Normalwerte:* eine viel geringere Spanne von Werten, die auf 90% der praktischen Fälle zutreffen (dabei darf nicht vergessen werden, dass 10% der Situationen *außerhalb* dieser Spanne liegen könnten).

Unter Grunddatenüberprüfung versteht man bei EINSTEIN die Überprüfung des Datensatzes eines Unternehmens darauf, ob die Daten den *mathematischen und physikalischen Beziehungen* und den *praktischen Grenzwerten* aus dem technischen Fachwissen entsprechen.

Mit Hilfe der EINSTEIN Software kann diese Grunddatenüberprüfung automatisch erfolgen. Wenn es Widersprüchlichkeiten zwischen den eingegebenen Daten und den vorgegebenen Grenzwerten gibt, werden die Daten automatisch korrigiert, und eine Liste von Fehlermeldungen wird erstellt.

Bei der Grunddatenüberprüfung mit der EINSTEIN Software werden außerdem all jene Daten *vervollständigt*, die im Fragebogen nicht explizit angegeben wurden, aber mit den angesprochenen Bezugswerten und Einschränkungen errechnet werden können.

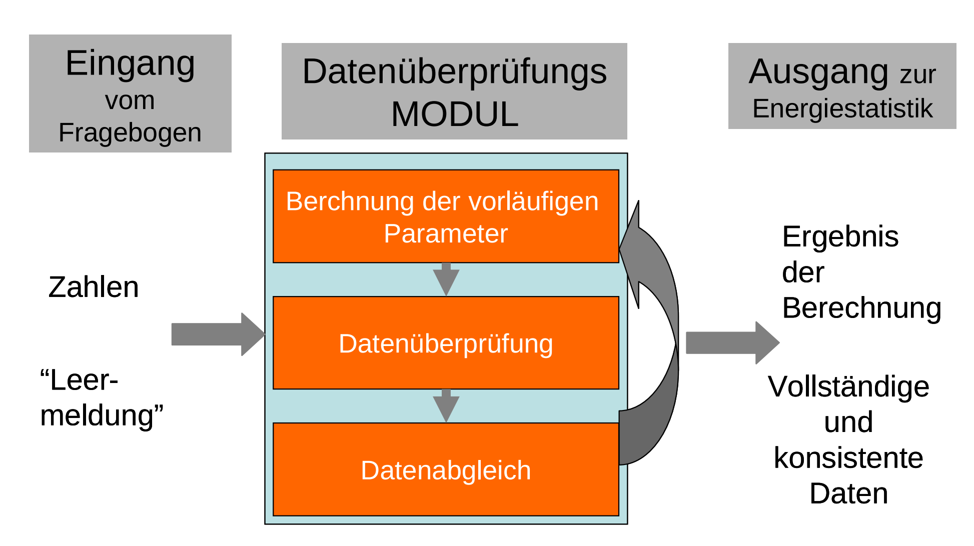


Abbildung 20: Schema der Grunddatenüberprüfung mit der EINSTEIN Software.

3.6.2 Beschaffung von fehlenden Informationen

Welche Menge an Informationen für ein Energie-Audit notwendig ist und wie genau diese sein müssen, hängt von der Tiefe des Audits ab. Für Vorevaluierungen („Quick&Dirty“-Studien) braucht man weniger Informationen, während für eine detailierte Analyse sehr viele Parameter beachtet werden müssen.

In vielen Fällen sind jedoch nicht alle theoretisch benötigten Zahlen leicht zu beschaffen. Vor allem bei kleinen Unternehmen sind oft sogar einfache Grunddaten schwer erhältlich. Im Datensatz könnten daher

nach der Grunddatenüberprüfung und der Datenvervollständigung immer noch Löcher klaffen oder sehr ungenaue Daten enthalten sein.

In diesem Fall können wir für unbekannte Parameter die von uns als *Spanne der Normalwerte* bezeichneten Daten aus unserem Fachwissen heranziehen. Mit Hilfe dieser „Normalwerte" können wir fast alle noch bestehenden Löcher schließen. Dabei müssen wir uns jedoch dessen bewusst sein, dass wir mit diesen *Schätzungen* nur *Vermutungen* anstellen, die nicht unbedingt der Wahrheit entsprechen müssen.

Wenn wir so vorgehen, sollte das aus unseren Berichten immer klar hervorgehen und ablesbar sein:

> *„Schlussfolgerungen nur gültig unter der Voraussetzung A, B und C…"*

Außerdem sollten wir – wann immer es möglich ist – zumindest im Nachhinein prüfen, ob die getätigten Annahmen korrekt waren oder nicht.

Wenn es auch trotz Ihres Fachwissens nicht möglich ist, zumindest Schätzwerte für die Grunddaten, die Sie für Ihre Analyse unbedingt benötigen, zu beschaffen, können Sie zweierlei tun:

a) Sie können das Unternehmen kontaktieren und den Verantwortlichen mitteilen, dass Sie mit den wenigen Ihnen vorliegenden Informationen unmöglich einen vernünftigen Vorschlag unterbreiten können.

b) Sie können Hypothesen oder Szenarien über die fehlenden Informationen aufstellen: Verwenden Sie Zahlen, die zumindest vernünftig scheinen. Sie können die Grenzfälle durchspielen: ein sehr gutes Szenario (für das System, das Sie vorschlagen möchten), ein sehr schlechtes und eines in der Mitte.

Das ist oft besser, als nichts zu tun. Aber wie oben erwähnt sollten Sie besser zweimal auf die Schätzungen aufmerksam machen und sie durch **Fettdruck** noch mehr unterstreichen.

Menge und Genauigkeit der Daten für die verschiedenen Stufen der Analyse

Bei der EINSTEIN Methode werden drei Analysestufen unterschieden, bei denen die Detailliertheit und Genauigkeit immer weiter ansteigt:

- *Stufe 1: „Quick&Dirty"-Analyse*

  Für die „Quick&Dirty"-Analyse reicht es, den Energieverbrauch und das Haupttemperaturniveau (Prozesstemperatur) der energieintensivsten Prozesse im Unternehmen mit einem Mindestmaß an Genauigkeit[10] zu kennen.

- *Stufe 2: EINSTEIN Standardanalysestufe*

  Für die EINSTEIN Standardanalysestufe sollten zumindest folgende Parameter mit einem Mindestmaß an Genauigkeit bekannt sein:

  - Energieverbrauch der energieintensivsten Prozesse und dessen Aufteilung in Wärme- und Kältebedarf für Zirkulation, Erhaltung und Inbetriebnahme

  - alle Temperaturen (Eintritt, Prozess, Austritt) und Betriebszeiten dieser Prozesse und der betroffenen Anlagen für die Wärme- und Kältezufuhr

  - Abwärmeflüsse der energieintensivsten Prozessen

- *Stufe 3: detaillierte Analyse*

  Für eine detaillierte Analyse sollten zumindest alle Informationen des EINSTEIN Basisfragebogens mit dem erforderlichen Maß an Genauigkeit zur Verfügung stehen.

[10] Unter Mindestmaß an Genauigkeit verstehen wir eine Fehlerspanne von weniger als +/- 50%!

Die Genauigkeit der verfügbaren Daten, sowohl im qualitativen Sinn der Verlässlichkeit (trauen Sie den Daten oder nicht) als auch im quantitativen Sinn der Fehlerspanne (± xy %), hängt stark von den folgenden Faktoren ab:

- *Die Informationsquelle.* In großen Unternehmen wird der Energieverbrauch oft direkt von präzisen Messgeräten festgestellt und in technisch ausgefeilten Energiemanagementsystemen gespeichert. Bei kleinen Unternehmen sind hingegen oft nur die durchschnittlichen Betriebsbedingungen der Anlagen und der gesamte Energieverbrauch aus den Stromrechnungen bekannt. Daten eines Jahres oder gar nur eines einzelnen Monats sind oft nicht sehr repräsentativ für den Durchschnittsverbrauch in der Zukunft.

- *Das Verfahren für die Datenbeschaffung* Beim Ausfüllen eines Datenblatts, beim Abschreiben von Zahlen oder beim Eintragen von Daten in ein Berechnungstool usw. können sich leicht Fehler einschleichen (z.B. Haben Sie/das Unternehmen die Daten richtig in den Fragebogen eingetragen? Könnten die Maßeinheiten vertauscht worden sein? Hat das Unternehmen den Fragebogen ausgefüllt oder haben Sie es dabei unterstützt? usw.)

- *Die Detailliertheit.* Je eingehender die Analyse sein soll, desto detailliertere und spezifischere Daten sind dafür notwendig. Damit steigt auch das Risiko, ungenauere Zahlen zu erhalten (z.B. Brauchen Sie Jahreswerte? Oder stündliche Werte? Interessieren Sie sich für den gesamten Energieverbrauch? Oder für die Aufgliederung nach verschiedenen Prozessen? usw.).

Sollte es Parameter geben, deren Richtigkeit Sie anzweifeln, dann sollten Sie dies im Bericht hervorheben, wie es schon für die geschätzten Werte und für die in Ihren Szenarien angenommenen Werte der Fall war.

3.6.3 Detaillierte Aufgliederung des Verbrauchs

Die Aufgliederung des Energieverbrauchs nach Prozessen, Anlagen, Brennstoffen und Temperaturniveau ist von großer Bedeutung, wenn man alle mit dem Energieverbrauch im untersuchten Unternehmen verbundenen Aspekte berücksichtigen will. Die resultierenden statistischen Informationen über den Ist-Zustand sind der Ausgangspunkt für alle Entscheidungen bezüglich der zu treffenden Energiesparmaßnahmen und -technologien.

Mit dem gesamten Energieverbrauch können die AuditorInnen die Höhe des Verbrauchs und die (vorläufigen) Möglichkeiten für das Energiesparen rasch einordnen, wenn sie die Zahlen mit Referenzdaten für den jeweiligen Industriebereich (Benchmarks) vergleichen. Bei der Abwägung verschiedener Alternativvorschläge zur Verbesserung der Energieeffizienz werden der derzeitige Energiebedarf und dessen Zusammensetzung als Referenz für die Auswertung der Auswirkungen der vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen verwendet.

Es folgt ein Abriss der wichtigsten Energiestatistiken mit Erklärungen zu deren Anwendung.

- *Aufgliederung der Energie nach Prozessen, Anlagen und Brennstoffart*: Zeigt auf, welche Prozesse und welche Anlagen am meisten Energie verbrauchen und welche Brennstoffarten sich am stärksten auf der Energierechnung niederschlagen. Nimmt man hier Verbesserungen vor, so kann man die größten Auswirkungen erzielen.

- Analyse des Energieverbrauchs nach *Temperaturniveau*. Ermöglicht die Bewertung des Potentials zur Abwärmerückgewinnung und zur Anwendung von effizienten Niedrigtemperaturtechnologien wie Solarthermie, Wärmepumpen, Kühlwasser aus KWK-Motoren usw..

- Analyse des Energieverbrauchs nach *Verbrauch von Primärenergie sowie CO_2- und anderen Emissionen*: ermöglicht die Abschätzung der Umweltauswirkungen durch das Unternehmen.

- Aufgliederung nach Kennziffern für den spezifischen Energieverbrauch: Energieintensität (EI) und spezifischer Energieverbrauch (SEC): ermöglicht den Vergleich mit Referenzdaten (Benchmarks) und die Festlegung von realistischen Zielen für den Energieverbrauch.

Die Aufgliederung der Energiedaten nach verschiedenen Zeitspannen kann weitere hilfreiche Einblicke bieten:

- *Jahreszahlen* zeigen auf, welche Prozesse, welche Anlagen und Energiearten am meisten Energie verbrauchen und sind allgemeine Anhaltspunkt dafür, wo die Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz als erstes ansetzen sollten.

- *Monatszahlen* zeigen jahreszeit- oder außentemperaturbezogene Veränderungen beim Bedarf (wie Raumwärme, Trockenverfahren, jahreszeitliche Produktionsänderungen wie z.B. in der Getränkeindustrie…) und bei der Versorgung (z.B. Solarthermiesysteme) auf. Man benötigt sie auch für die Bewertung der Einsetzbarkeit von spezifischen Technologien.

- *Stündliche Werte* über Wärmebedarf und –zufuhr werden zur Feststellung der Lastspitzen, zur Analyse der Möglichkeiten für Abwärmerückgewinnung und vor allem zur Bestimmung des kumulierten Bedarfs an Wärme und Kälte benötigt.

Diese Aufgliederungen des Energiebedarfs des Unternehmens können mit der EINSTEIN Software automatisch vorgenommen werden, sowohl für den Ist-Zustand des Unternehmens, als auch für Zukunftsszenarien mit den verschiedenen Vorschlägen für die Alternativen.

3.6.4 Analyse des tatsächlichen Betriebs der bestehenden Anlagen

Die technischen Daten der Anlagen sind von großer Bedeutung für die Leistungsbewertung des Energiesystems. Die relevantesten Leistungsparameter sind jene bezüglich der Effizienz der Energieumwandlung und der Heiz-/Kühlkapazitäten.

Meistens sind die zugänglichen Informationen über diese Daten nur die Nominalwerte in den technischen Datenblättern der Hersteller der Anlagen oder auf den Anlagen selbst.

Die tatsächliche Leistung der Anlagen kann jedoch aufgrund von Verschmutzungen oder Defekten, die bei extremen Betriebsbedingungen bei spezifischen Anwendungen oder wegen einer Reihe von anderen Faktoren entstehen, von diesen Daten abweichen. Daher kann es – wenn diesbezüglich Daten dafür zur Verfügung stehen – von Interesse sein, die tatsächliche Leistung der Anlagen mit den nominellen Leistungsdaten zu vergleichen.

Eine Möglichkeit der Bewertung der tatsächlichen Leitung ist das Messen von Brennstoffeinsatz und Wärmeabgabe. Wenn beispielsweise der Brennstoffverbrauch und die Wärmeerzeugung eines Heizkessels aufgrund von Messungen bekannt sind, kann die durchschnittliche Umwandlungseffizienz errechnet werden.

Bei Verbrennungsanlagen können Informationen über die Umwandlungseffizienz der Anlage auch durch eine Messung der Abgase erlangt werden, da die Wärme in den Abgasen und die unvollständige Verbrennung die Hauptfaktoren für Energieumwandlungsverluste darstellen.

Wenn diese Messdaten zur Verfügung stehen, kann die EINSTEIN Software die notwendigen Berechnungen automatisch durchführen. Bei signifikanten Unterschieden zwischen der nominellen und tatsächlichen Anlagenleistung wird der/die AuditorIn durch entsprechende Warnmeldungen informiert.

3.6.5 Vergleich mit Benchmarks

3.6.5.1 Was versteht man unter Benchmarking?

Benchmarking ist ein strukturierter Prozess, bei dem Unternehmenspraktiken verglichen und analysiert werden, um Geschäftsabläufe durch das Erkennen, Verbreiten und Anwenden von Best Practices zu verbessern. Das Ziel von Benchmarking ist es, die Energieeffizienz eines Unternehmens in Hinblick auf die definierten Benchmarks oder Ziele zu bewerten.

Bei EINSTEIN werden folgende Referenzwerte verwendet:

- Ein *Benchmark* ist die Spanne zwischen einem Mindest- und einem Höchstwert (B_{min}, B_{max}), die den Energieverbrauch von Unternehmen auf dem Stand der Technik in einem bestimmten Sektor beschreibt.

- Ein *Ziel* (target) ist ein Zielwert (B_{tar}) für Energieintensität oder den spezifischen Energieverbrauch, der erreicht werden kann, wenn die wirtschaftlich machbaren, besten verfügbaren Technologien eingesetzt werden. Wenn keine expliziten Zielwerte angegeben werden, kann angenommen werden, dass jene Unternehmen gute Praktiken anwenden, deren Energieverbrauch in den unteren 10 % der Spanne zwischen B_{min} und B_{max} liegt.
- Good Practises sind von erfolgreichen Unternehmen angewandte dokumentierte Strategien und Taktiken. Diese können durch eingehende Befragungen von EnergiemanagerInnen, eine Durchsicht der Unternehmensunterlagen, sowie durch die Analyse von Literatur und Sekundärquellen ermittelt werden.

3.6.5.2 Einteilung der Kennzahlen nach Referenzgröße

Für das Benchmarking in EINSTEIN werden drei Arten von Referenz-Verhältnissen systematisch verwendet (abhängig von der als Referenz verwendeten Größe):

- *Energieintensität*: Unter Energieintensität verstehen wir den Energieverbrauch im Verhältnis zum Geldwert des Produkts. Der Produktwert kann entweder mittels Umsatz (Verkaufspreis) oder mittels Produktionskosten (ungefährer Verkaufspreis minus Unternehmensgewinn) ausgedrückt werden. Wenn nicht explizit angegeben, wird der Umsatz (Verkaufspreis) verwendet. Da sich diese Benchmarks auf Währungseinheiten beziehen, sollte die Währung und das Jahr der Datenerhebung klar angegeben werden.

- *Spezifischer Energieverbrauch pro Produkteinheit* Der spezifische Energieverbrauch pro Produktmenge ist der mit der betroffenen Produktionslinie verbundene Energieverbrauch für die damit hergestellt Produktmenge (gemessen in Einheiten, Tonnen, Litern usw.; z.B. der gesamte Energieverbrauch pro kg Saftkonzentrat, Energieverbrauch pro Liter eines chemischen Produkts usw.).[11]

- *Spezifischer Energieverbrauch pro Zwischenerzeugnis in einer Grundoperation:* Neben den Kennzahlen für Endprodukte, sind auch Energieverbrauchszahlen für Grundoperationen von Interesse. Der spezifische Energieverbrauch pro Menge an verarbeiteten Zwischenerzeugnissen ist der mit dieser Grundoperation verbundene Energieverbrauch in Bezug auf die Produktmenge (gemessen in Einheiten, Tonnen, Litern usw.; z.B. der gesamte Energieverbrauch pro kg oder Liter eine destillierten Lösung). Wo diese Kennzahlen auftreten, wird auch die Referenzgrundlage angegeben (z.B. bei einem Trockenprozess kann der Energieverbrauch in kg des feuchten oder des trockenen Produkts angegeben werden, was zu sehr unterschiedlichen Zahlenwerten führen kann).

3.6.5.3 Einteilung nach Energietyp

- *Strom vs. Brennstoffe*: Im Benchmarking-Modul werden die Daten über den Energieverbrauch in Strom und Brennstoffe aufgeteilt, da diese Daten in der Praxis leichter verfügbar sind (von den Strom- und Brennstoffrechnungen in Ihren Unternehmen) als Energie für Wärmenutzung von Energie für Nichtwärmenutzung zu unterscheiden.

- *Gesamter Endenergieverbrauch:* Die Zahlen über den gesamten Energieverbrauch ergeben sich aus der Summe der im Strom enthaltenen Endenergie und der in den Brennstoffen enthaltenen Endenergie.

- *Gesamter Primärenergieverbrauch:* Gesamter Energieverbrauch im Sinne von Primärenergie. Dieser Parameter sollte – wenn er verfügbar ist – für einen globalen Vergleich zwischen Unternehmen genutzt werden.

[11] Der allgemeine Energieverbrauch im Unternehmen, der keiner Produktionsline oder keinem Produkt zugeordnet werden kann, sollte verhältnismäßig zu dem Wert eines bestimmten Produkts am Gesamtumsatz einberechnet werden.

3.6.5.4 Benchmarking-Verfahren bei EINSTEIN

Die Energieeffizienz eines Unternehmens wird beurteilt, indem man den tatsächlichen Wert des spezifischen Indikators *I* (z.B. spezifischer Energieverbrauch pro Tonne eines Produkts) mit einem Referenzziel B_{tar} vergleicht, das auf der bestehenden Struktur der Branche basiert. Das bedeutet, dass sowohl der tatsächliche Wert *I* als auch der Referenzwert B_{tar} ähnlich von Veränderungen in der Struktur der Branche betroffen sind.

Das Referenzziel B_{tar} wird wie zuvor erklärt bestimmt. Die Differenz zwischen dem tatsächlichen *I* und der Referenz B_{tar} wird als Maßstab für Energieeffizienz herangezogen, da sie zeigt, wie energieeffizient ein Unternehmen sein könnte, wenn „Best Practice"-Anlagetechnologien eingesetzt werden würden. Je geringer die Differenz, desto höher ist die Energieeffizienz. Das Verhältnis zwischen dem tatsächlichen *I* und der Referenz B_{tar} (genannt Energieeffizienzindex *EEI; Gleichung 3.1)* kann zwischen Unternehmen verglichen werden.

$$EEI = \frac{I}{B_{tar}} \cdot 100\% \qquad (3.1)$$

wobei *I* den spezifischen Indikator des Energieverbrauchs und B_{tar} den Referenzzielwert darstellt.

Wenn in einem Sektor nur die beste Anlagentechnologie eingesetzt wird, würde der *EEI* 100 betragen. Ein *EEI* von 105 bedeutet, dass *I* durchschnittlich 5% höher als der Referenzwert ist. 5% der Energie könnte bei der vorliegenden Prozessstruktur somit eingespart werden, wenn die Referenztechnologie eingesetzt wird.

3.6.5.5 Referenzen für Benchmark-Daten

Einige Daten zu Benchmarks wurden aus den bestehenden BREF-Referenzdokumenten über die besten verfügbaren Techniken (BVT) und anderer Literatur und Quellen ausgesucht, um eine Grundlage für Kennzahlen und Benchmarks/Ziele zu schaffen. Diese sind in der Default-Datenbank der EINSTEIN Software enthalten. Der Ursprung jedes Benchmarks in dieser Datenbank wird angegeben.

Benchmarks sind auch in der Literatur entweder für *Industriesektoren oder Untersektoren*, für bestimmte *Produkte* oder für bestimmte *Grundoperationen* erhältlich.

a) Klassifizierung nach Industriesektor und Untersektor

Die EINSTEIN Default-Datenbank beinhaltet einige Benchmarks für die folgenden Industriesektoren mit ihrem NACE-Code. Andere Sektoren könnten in der Zukunft aufgenommen oder von den BenutzerInnen hinzugefügt werden.

b) Klassifizierung nach Grundoperationen

In der industriellen Warenerzeugung versteht man unter Grundoperation den Grundschritt eines Prozesses. Bei der Milchherstellung beispielsweise sind die Homogenisierung, die Pasteurisierung, die Kühlung und die Verpackung Grundoperationen, die gemeinsam den gesamten Produktionsprozess bilden. Ein Produktionsprozess kann aus mehreren Grundoperationen bestehen, bis das gewünschte Produkt hergestellt ist.

Referenzen für Kapitel 3.6.5:

BVT-Referenzdokumente (BREFs) für verschiedene Industriesektoren werden von der Europäischen Union unter http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm veröffentlicht.

Review of Thermal Auditing Practice and Tools. EINSTEIN Project, Deliverable D2.2

EINSTEIN Schritt 6: Analyse des Ist-Zustands

> Datenüberprüfung

> Fehlende Informationen schätzen und/oder beschaffen

> Verbrauch aufgliedern

> Tatsächliche Leistung der Anlagen

> Vergleich mit Benchmarks

3.7 Erstellung des Konzepts der Einsparungsmöglichkeiten und erste Definition der Energieziele

Wie schon in Abschnitt 1.3 beschrieben, müssen für eine systematische Analyse des Energieeinsparpotentials folgende Schritte durchlaufen werden:

- Reduktion des Prozesswärmebedarfs (Prozesskühlungsbedarf) durch Prozessoptimierung
- Reduktion des Bedarfs an Wärmezufuhr (Kältezufuhr) durch Wärmerückgewinnung und Prozessintegration
- Kraft-Wärme-Kopplung und Polygeneration
- Abdeckung des verbleibenden Wärme- und Kältebedarfs mit energieeffizienten Technologien, wo möglich mit erneuerbaren Energiequellen

Der erste Schritt ist die Planung und die Bemessung eines alternativen Wärme- und Kälteversorgungssystems. Verschiedene mögliche Alternativen müssen ausgearbeitet und in den Folgeschritten untereinander auf die energetische und wirtschaftliche Leistung hin verglichen werden, damit am Ende die beste Lösung ausgewählt werden kann.

Die Analyse des Wärme- und Kältebedarfs und des Potentials für Wärmerückgewinnung / Prozessintegration macht es auch möglich, a priori Energieziele zu stecken, die bei der Bewertung von errechneten tatsächlichen Systemleistungen als Referenz verwendet werden können.

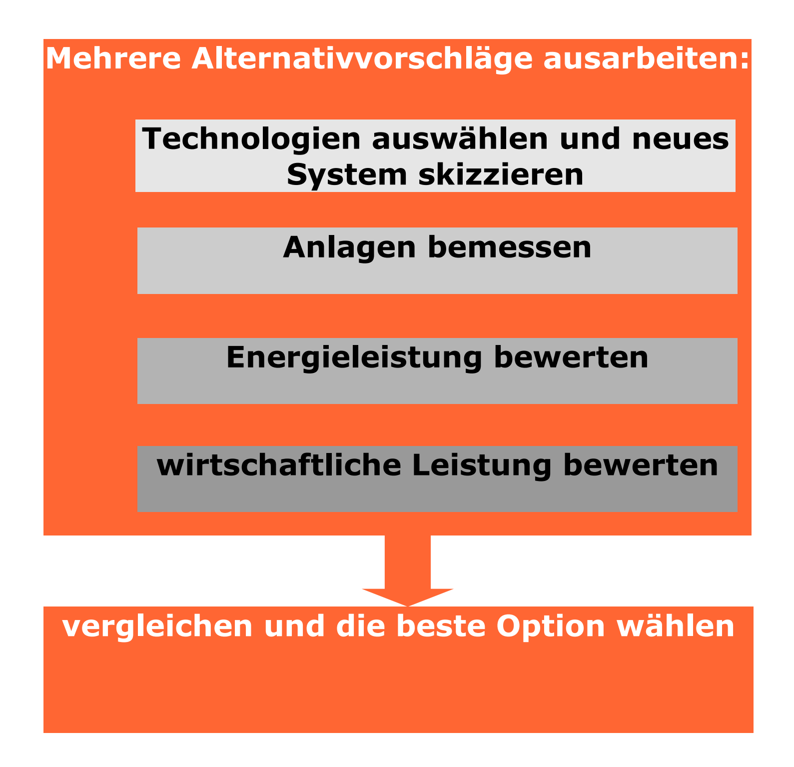


Abbildung 21: Schritte für die Erstellung und Bewertung von Alternativvorschlägen (EINSTEIN Audit-Schritte 7-9)

3.7.1 Prozessoptimierung: Liste mit effizienten Technologien für einzelne Grundoperationen, Möglichkeiten für bedarfsorientierte Einsparungen

Nachdem die Daten über den Energiebedarf gesammelt, dokumentiert und analysiert wurden und das Benchmarking durchgeführt wurde, muss den BenutzerInnen gezeigt werden, mit welchen Energiesparmaßnahmen die Produktionsprozesse energetisch verbessert werden könnten.

Wie bereits erwähnt gibt es zahlreiche andere Handbücher über Energieeffizienz und Berichte von Fallstudien, die die Vielfalt an Maßnahmen für bedarfsorientierte Einsparungen aufzeigen. Eine umfassende Liste der relevanten Dokumente wurde im EINSTEIN D.2.2 Bericht „Energy Auditing Practices and Tools" erstellt. Darin wurden die Maßnahmen nach Branchen, wie auch nach Wärme- und Kälteversorgungstechnologien geordnet, um einen strukturierten Überblick über Einsparungspotentiale zu geben.

Regelmäßig (mind. 1 x jährlich) durchzuführende Maßnahmen sind z.B. „Good Housekeeping" Tätigkeiten (Energiemanagement-Maßnahmen, die regelmäßig mind. einmal jährlich durchgeführt werden). Nachfolgend sind einige typische Energiesparmaßnahmen angeführt:

- Anpassen und Festziehen der Lüftungsklappen-Scharniere, insbesondere an Außenluft-Klappen, Klappen, die mehrere Zonen abtrennen, Bypass-Lüftungsklappen und Klappen zu Heizschlangen
- Überprüfung der Antriebe, insbesondere Spannung der Keilriemen und Ausrichtung der Motorachse.
- Rechtzeitiger Ersatz von Filtern
- Abschalten der Absaugung in Küchen oder Wäschereien, wenn die versorgten Prozesse nicht laufen
- Ausschalten von Beleuchtung und Geräten, die Wärme abgeben, wenn diese nicht benötigt werden
- Überprüfung und Anpassung der Kontroll-Komponenten, wie Raumthermostate, Luft- und Wasser-Temperatur und Überprüfung der richtigen Einstellung der Zeitschaltuhren
- Isolierung von Rohrleitungen (Pump- und Ventilatorsysteme) falls nicht vorhanden oder beschädigt
- Reparatur von Leckagen in Lüftungsleitungen
- Reinigung von Wärmetauscher-Oberflächen und Heizschlangen
- Überlegen Sie sich Richtlinien zur Nutzung von Gebäudeteilen, um den Eintrag von Außenluft zu verringern
- Legen Sie minimale und maximale Temperaturen für Heizung und Kühlung fest und passen Sie die entsprechenden Regler an
- Passen sie Luftwechselraten an sich ändernde Belegungsbedingungen (z.B. Prozessänderungen, Auslastung) und die geänderte Verwendung von Gebäudenteilen (Hallen) an
- Überprüfen Sie die Ventilator-Regelung bei variablen Anforderungen (z.B. Einstellung von Frequenzumrichtern)

Referenzen:

C.Vannoni et al. (2008): EINSTEIN Report: Review of Thermal Energy Auditing Practices and Tools. IEE Project EINSTEIN, Project deliverable D2.2. Available for download on www.einstein-energy.net

3.7.2 Prozessoptimierung: Effiziente Technologien für spezifische Grundoperationen, Möglichkeiten für Einsparungen auf der Nachfrageseite

Ein zweiter genauerer Schritt zur Analyse der Möglichkeiten für demand side savings ist es, jeden einzelnen Grundschritt auf Effektivität und Effizienz zu prüfen.

EINSTEIN Schritt 8: Berechnung der Energieleistung und Umweltanalyse

> Schnellberechnung

> Systemsimulation mit spezifischer externer Software

> Energie- und Umweltanalyse

Mögliche Methoden, um die Prozesse zu verbessern:

- Austausch von Technologien
- Verbesserte Steuerung

Es gibt viel Literatur über Energieeffizienzmaßnahmen für verschiedene Sektoren und BetriebsingenieurInnen, BetreiberInnen, TechnologieentwicklerInnen und ForscherInnen arbeiten ständig an diesem Thema. Die Europäische Union hat Unterlagen für jeden Sektor ausgearbeitet, die die derzeitig „beste verfügbare Technik“[12] zusammenfassen. Eines der Ziele dieser Arbeit ist der effiziente Umgang mit Energie.

Diese BVT-Referenzdokumente (BREFs) für verschiedene Industriesektoren werden von der Europäischen Union unter http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm veröffentlicht. Für dieses Projekt besonders interessant sind die BREF-Berichte über:

A. *Energieeffizienz:*

- Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Energy Efficiency Techniques, Juni 2008

B. *Wärme- und Kälteversorgungssysteme:*

- Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems, Dezember 2001
- Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, Juli 2006

C. *Lebensmittel:*

- Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries, August 2006

Im Rahmen des IEA Task 33/IV über *Solarwärme für industrielle Prozesse* wurde eine *Indikatoren-Matrix* erstellt - ein Instrument, das Verfahrenstechnik und Energieinformationen von Industriesektoren mit Potentialen für die Anwendung von Solarthermiesystemen systematisch auflistet. Ziel war es, ein System zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung zu entwickeln, das den BenutzerInnen eine große Informationsdatenbank für alle wichtigen Schritte bei der Planung eines Solarwärmesystems für industrielle Prozesse zur Verfügung stellt. Zu diesen Schritten gehören die Übersicht über die Prozesse, wichtige Parameter über die Energieversorgung der Grundoperationen, Benchmarkdaten über den Energieverbrauch, wettbewerbsfähige Technologien, hydraulische Schemata für die Solarintegration und erfolgreiche Fallstudien. Im Matrixkapitel über wettbewerbsfähige Technologien werden energieeffiziente Technologien für verschiedene Grundoperationen angeführt. Diese Matrix wurde durch AEE INTEC und die Technische Universität Graz weiterentwickelt und ist nun als umfassende Datenbank im Internet unter http://wiki.zer-emissions.at verfügbar.

Das EINSTEIN Tool baut auf diesen bestehenden (teils im Rahmen des EINSTEIN Projekts gesammelten) Informationsquellen auf. In der im EINSTEIN Tool integrierten Datenbank ist folgendes nachzulesen:

[12] Gemäß Artikel 2.11 der IVU Richtlinie bezeichnet „beste verfügbare Techniken" den effizientesten und fortschrittlichsten Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden, der spezielle Techniken als praktisch geeignet erscheinen lässt, grundsätzlich als Grundlage für die Emissionsgrenzwerte zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt allgemein zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern. „Techniken“ steht sowohl für die angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie die Anlage geplant, gebaut, gewartet, betrieben und stillgelegt wird; „verfügbar" bezeichnet die Techniken, die in einem Maßstab entwickelt sind, der unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses die Anwendung unter in dem betreffenden industriellen Sektor wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen ermöglicht, gleich, ob diese Techniken innerhalb des betreffenden Mitgliedstaats verwendet oder hergestellt werden, sofern sie zu vertretbaren Bedingungen für den Betreiber zugänglich sind; „beste" bezeichnet die Techniken, die am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt sind.

a) allgemeine Energiesparmaßnahmen
b) spezielle Einsparmaßnahmen für die im Produktionssystem angewendeten Grundoperationen

Die Struktur basiert auf Grundoperationen, die nach Relevanz mit verschiedenen Branchen verknüpft sind. Dies ermöglicht eine gezielte Datenbanksuche nach effizienten Technologien oder Methoden für spezielle Grundoperationen oder nach Energiesparmaßnahmen für einzelne Technologien. In Tabelle 9 finden Sie einige Beispiele von Datensätzen, die Ihnen die Struktur der Datenbank zeigen (Nicht zu sehen ist die Zuordnung zu den relevanten Branchen, in denen diese Technologien und Einsparmaßnahmen bereits angewendet werden).

Tabelle 9: Beispiele für Datensätze aus der EINSTEIN Datenbank über allgemeine Sparmaßnahmen und die besten verfügbaren Techniken in der Lebensmittelindustrie

UNIT OPERATION	TYPICAL PROCESS	TECHNOLOGY	ENERGY EFFICIENCY MEASURE
01-CLEANING	0101-Cleaning of bottles and case	General measures	Install heat exchangers to recover thermal energy from condensate in its bottle washing section and fuel oil heater condensate
01-CLEANING	0101-Cleaning of bottles and case	Methodology	Cascaded use of wash water
01-CLEANING	0103-Cleaning of production halls	General measures	Low temperature detergents in washing: Use of final rinsing water for pre-rinsing, intermediate rinsing or the preparation of cleaning solution (often used in CIP systems); turbidity detectors can optimize the reuse of water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Flash pasteurization	Reuse pasteurizing overflow water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Use store heat / solar heat for heating system for start up
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	High efficiency pumps, VS drives
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Preheat incoming containers (ambient air, solar)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Local generation of hot water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Use of hot water instead of steam (no distribution losses, no HEX losses etc.)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Insulating high temperature zones of unit
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Thinner glass / more conductive materials lower the driving temperature (temp drop across glass now: 5-15°C)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Even heating/cooling increase heat transfer and shorten process times
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Immersion, spraying from below, or other heat transfer systems may increase internal convection and allow process time to be shorter
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Aiming at very little temperature increase of containers leaving the unit (normally +20°C compared to entrance temp)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Evaporatively cooled water, absorption or ejector cooling with waste heat or other strategies may be used for cooling, if necessary
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Microwave pasteurization	Reuse pasteurizing overflow water Possible use in conjunction with heat recovery or at variable basis to achieve specified temperatures where variable heat sources are available or flow rates vary. Efficiency at 90% (conversion from electricity). Power from cogeneration can enhance economic/ecological performance.
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Mechanical pasteurisation	Reducing pressure drop over filters is decisive. Strategies using centrifuges
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Irridation for pasteurisation	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Ultrasonic pasteurisation	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Ultraviolet radiation for sterilization	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Microfiltration for sterilization and clarification	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	General measures	Use of vapour condensers in wort boiling to collect hot water from condensate
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Wort boiling with mechanical vapour recompression	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Wort boiling with thermal vapour recompression	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Steineker Merlin wort boiling system	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Brewing at high specific gravity	

Die Datenbank soll die besten verfügbaren Techniken und Möglichkeiten für Prozessoptimierung für die verschiedenen Grundoperationen in unterschiedlichen Branchen zusammenfassen. Die BenutzerInnen können somit von Lösungen für ähnliche verfahrenstechnische Probleme in anderen Industriesektoren lernen.

Weitere Informationen über die vorgeschlagenen Technologien und Effizienzmaßnahmen findet man bei Bedarf unter einem Link zu einem *Wiki Web über Energieeffizienz*. Auf diesem *Wiki Web* wurde die (im Rahmen des IEA Task 33/IV entwickelte) *Matrix für Industrieprozessindikatoren* veröffentlicht. Die Abschnitte über wettbewerbsfähige Technologien werden ständig um zusätzliche Details zu effizienten Technologien und beste verfügbare Techniken erweitert.

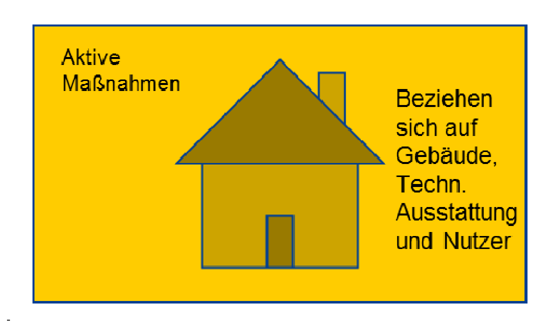
Instrumente des Moduls zur Prozessoptimierung

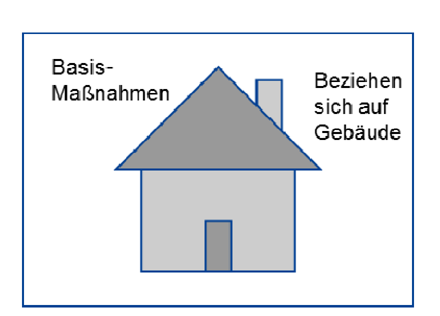
- Datenbank mit den besten verfügbaren Techniken und Maßnahmen zur Prozessoptimierung für verschiedene Grundoperationen
- Tool zur Identifizierung von Optimierungsmöglichkeiten bei der für die Prozesse angewendeten Technologie und den Anlagen

3.7.2.1 Verbrauchsreduktion in Gebäuden

Die wesentlichen Verbesserungsmaßnahmen in Gebäuden können unterteilt werden in Grundmaßnahmen und aktive Maßnahmen (siehe Abb. 23).

- ✓ **Optimierte Heizsysteme**
- ✓ **Anwendung von Erneuerbaren Energiequellen**
- ✓ **Optimierte Heizkonstrollsysteme**
- ✓ **Optimiertes Lüftungssystem**
- ✓ **Beeinflussung des Nutzerverhaltens**





- ✓ **Vollständige Außendämmung**
- ✓ **Thermisch optimierte Fenster u. Türen**
- ✓ **Luft-Dichtheit**
- ✓ **Externe Beschattung**
- ✓ **Natürliche Kühlung**

Abbildung 22: Zwei Niveaus von Verbesserungsmaßnahmen – Grundmaßnahmen und Aktive Maßnahmen führen zu Energieeffizienz und guter Raumqualität (Referenz: AEE INTEC)

Abhängig von der warmen, gemäßigten oder kalten Klimazone des Gebäudestandortes (gemessen an der niedrigsten und durchschnittlichen Temperatur während der Heizperiode, der durchschnittlichen Außentemperatur im Sommer, der Heizgradtage und der Sonneneinstrahlung) können 6 Maßnahmen zur Optimierung der Heizung und Kühlung eines Gebäudes vorgeschlagen werden (Vorgeschlagene Maßnahmen für Klimazonen in Europa [Knotzer und Geier, 2010]).

Komplette Außendämmung

Wärmedämmung ist in allen Klimazonen gefragt. Die Dicke der Dämmschicht reicht von 5 cm im Süden zu 40 cm im nördlichen Teil Europas. Vor der Dämmung ist es wichtig, die Gebäudeteile (zum Untergrund, Wände, Decken…) genau auf kapillaren Aufstieg und absorbierte Feuchtigkeit zu prüfen. Bautechnisch begründet, sollte die Dämmung an der Außenseite der tragenden Struktur angebracht werden. Es ist so einfacher, Wärmebrücken zu vermeiden, Fensterrahmen zu isolieren, und die Wärme speichernde Masse und einen Feuchtigkeitspuffer der Gebäudeteile innerhalb der thermischen Gebäudehülle zu erhalten. Innendämmung verwendet man eher bei historischen Gebäuden, wo es jedoch schwieriger ist, die Herausforderungen, die in der damaligen Bauweise liegen, zu meistern. Der Heizwärmeverlust und Wärmebrücken können auf diese Weise verringert bzw. verhindert werden, was zu einer Reduktion des Energieverbrauchs von bis zu 70 % führt. Gleichzeitig kann dadurch der Wärmekomfort innerhalb des Gebäudes verbessert werden.

Thermisch optimierte Fenster und Türen

Gut gedämmte Verglasungen, Fenster und Türen werden in allen europäischen Klimazonen gebraucht, wobei die Dämmung verstärkt an kälteren Orten, aber immer öfter auch in warmen Gebieten eingesetzt wird. Zur Verbesserung der Energieeffizienz muss nicht nur die Qualität des Dämmmaterials gut sein, diese ist auch von der Art der Befestigung am Gebäude abhängig. Die äußere Dämmschicht sollte für den besten

Schutz einen großen Teil des Fensterrahmens abdecken. Damit wird auch Zugluft in den Fugen weitgehend vermieden.

Reduzierte Verluste durch Wärmeübertragung und die Nutzung von “passiver” Solarenergie können den Energieverbrauch um bis zu 25 % vermindern. Im Gebäude selbst wird der Komfort durch weniger Zugluft, weniger kalten Oberflächen und einer verringerten Wahrscheinlichkeit von Kondensation erhöht.

Luftdichtheit

In ganz Europa, vor allem aber in den kalten und gemäßigten Gebieten besteht ein Bedarf an luftdichten Gebäudehüllen. Der wichtigste Punkt ist zu entscheiden, wo die luftdichte Hülle angebracht wird (auf der Innenseite der Außenwand oder zwischen alter und neuer Fassade etc.) und wie Fenster- und Türöffnungen in die luftdichte Hülle integriert werden. Lüftungsverluste können so reduziert werden und im Gebäudeinneren herrscht eine positivere Atmosphäre durch verbesserten thermischen Komfort, verringerten Luftzug und weniger kalten Oberflächen sowie einer verringerten Wahrscheinlichkeit von Kondensation.

Externe Beschattung

Die Maßnahme ist vor allem in warmen Gebieten für den Komfort im Gebäudeinneren wichtig, wird aber immer öfter auch in kühleren Gegenden genutzt. Gründe dafür sind z.B. eine höhere innere Wärmelast (technische Geräte, Licht), große Fensterflächen etc. Durch externe Beschattung kann der Kühlungsbedarf und der Energieverbrauch für künstliches Licht durch kombinierte Tageslichtnutzung reduziert werden. Weiters steigt die Wohnqualität durch die Vermeidung von zu hohen Temperaturen und Verfügbarkeit von Tageslicht.

Natürliche Kühlung

Dachlüftungen und helle Dächer und Fassaden sind ein wirksamer Schutz gegen Überhitzung in den warmen Ländern Europas. Natürliches Querlüften und freie Kühlung in der Nacht werden kombiniert mit Dämmung der Außenflächen, um ein angenehmes Raumklima während der Sommersaison und auch in kalten Jahreszeiten zu erhalten. Damit können der Kühlungsbedarf reduziert und zu hohe Temperaturen vermieden werden.

Nutzerverhalten

Jede Sanierung von Wohngebäuden ist zuallererst eine technische und organisatorische Aufgabe, aber auch eine soziale und kommunikative. Diese leiten die Bewohner (Verbraucher) zu Energieeffizienz-Verbesserungen und einem guten Raumklima. Für einen umfangreichen Erfolg ist es sehr wichtig, dass die Verbraucher die Änderungsmaßnahmen und die neue Art der Energieverwendung nach Fertigstellung verstehen und umsetzen wollen. Es ist weiters sehr wichtig, den Bewohnern Informationen und Werkzeuge zu geben, damit sie verstehen lernen können, womit sie es zu tun haben (Gebäudetechnik, Stromverbrauch der verschiedenen Geräte, Klimaanlagen etc.) Damit wird der Gesamtenergieverbrauch reduziert, die Energieeffizienz erhöht und die Wohnqualität wird stabiler.

Solare Raumwärme in Industriebetrieben

In einem Industriegebäude hängt die spezifische Heizwärmebedarf von der Temperatur im Gebäude, der Luftwchselrate, der Qualität der Dämmung und internen Wärmegewinnen ab. Innerhalb des IEA Task 33/IV/ simulierte AEE INTEC unterschiedliche Szenarien in einem Referenzgebäude in Österreich (Heizwärmebedarf 70 kWh/(m²a), 1000 m² Fläche, Höhe 6 m, Ein-Schicht Betrieb, 15 Arbeiter und interne Wärmegewinne von 5 W/m² durch die Beleuchtung. Es zeigte sich, dass im Vergleich zum Referenzgebäude der Heizwärmebedarf auf 105 kWh/(m²a) durch reduzierte Wärmedämmung steigt und sogar auf 150 kWh/(m²a) wenn zusätzlich zur geringeren Dämmung die Luftwechselrate erhöht wird. Durch interne Gewinne durch den Einsatz von Maschinen kann sich der Bedarf auf ca. 50 kWh/(m²a) reduzieren. Aufbauend auf der Arbeit im IEA Task 33/IV kann solare thermische Energie als gute Lösung für die Raumheizung von Industriegebäuden empfohlen werden, falls nicht genug Abwärme durch die Anlagen im Unternehmen vorhanden ist (weitere Information unter Jähnig and Weiss [2007]).

Referenzen und weitere Informationen:

Knotzer, A., Geier, S. (2010): SQUARE - A System for Quality Assurance when Retrofitting Existing Buildings to Energy Efficient Buildings, Energy Improvement Measures and their Effect on the Indoor Environment, SQUARE project (EIE/07/093/SI2.466701), Work Package 5 Energy Improvement Measures, Deliverable 5.1 report, AEE INTEC, Gleisdorf, Austria

Jähnig, D., Weiss W., (2007): Design Guidelines – Solar Space Heating of Factory Buildings – With Underfloor Heating Systems, Booklet prepared as part of the IEA Task 33/IV – Solar Heat for Industrial Processes, published by AEE INTEC, Gleisdorf, Austria

3.7.3 Entwurf für das Wärmetauscher- und Speichernetzwerk

Nachdem alle relevanten Daten gesammelt wurden und das Energiesparpotential durch den Einsatz von energieeffizienten Prozesstechnologien analysiert wurde, ist der nächste Schritt bei der Audit-Methode eine strukturierte Analyse des Potentials für weitere Einsparungen durch Wärmerückgewinnung. Dies ist von großer Bedeutung, da alle Energieeffizienzmaßnahmen, die vor dem Wechsel zu einem anderen Energieversorgungssystem getroffenen werden, ein effizientes Gesamtkonzept für eine nachhaltige Energieversorgung in der Zukunft sicherstellen und die Überdimensionierung der Versorgungsanlagen vermeiden.

Wärmeintegration ist seit den 70er Jahren eine gut entwickelte Methode zur Optimierung thermischer Verfahren [Linnhoff and Hindmarsh 1983]. Mit der *Pinch-Analyse* (Details vgl. Abschnitt 2.5) kann das Potential für Wärmerückgewinnung in einem System von Energieflüssen gezeigt werden. Auf der Grundlage der beschafften Daten über Prozesse und Versorgungsanlagen des Unternehmens und der Energiebilanz können „Enthalpieströme" bestimmt werden, die entweder den Energiebedarf oder die Energieverfügbarkeit eines Prozesses anzeigen.

Als Bespiel finden Sie in Tabelle 10 die Energieflüsse in einer Flaschenwaschmaschine mit den folgenden Parametern:

- Volumen der Behälter in der Maschine: insgesamt 5 m³
- Temperatur des kalten Wassers = 10 °C
- Temperatur des Wassers in der Maschine = 60 °C
- Zufuhr von Kaltwasser während des kontinuierlichen Betriebs = 10 m³/Tag
- Zufuhr von Wärme während des Betriebs (Wärme des eingespeisten Wassers und thermische Verluste, Verdampfung vernachlässigbar) = 90 kW
- Betriebszeiten: Inbetriebnahme von 6:00 bis 6:30, kontinuierlicher Betrieb von 6:30 bis 16:00.
- Abwassertemperatur = 50 °C
- Temperatur, auf die das Abwasser abgekühlt werden kann: 5 °C

Tabelle 10: Enthalpieströme am Beispiel einer Flaschenwaschmaschine

Name	Start-Temperatur	End-Temperatur	Mengen-durchfluss	Benötigte Leistung/ Abwärme	Betriebszeiten
	°C	°C	kg/h	kW	
Inbetriebnahme	10	60	10.000	582	6:00 – 6:30
Wärmen des ständigen Wasserzuflusses	10	60	1.053	61	6:30 - 16:00
Zusätzliche Wärmezufuhr während des Betriebs wg thermischer Verluste	60	60	-	29	6:30 - 16:00
Abwasser	50	5	1.053	55	6:30 - 16:00
Abwasser nach Maschinenstopp	50	5	10.000	524	16:00 – 16:30

Solche Ströme können für jeden Prozess und jede Anlage erstellt werden. Man konzentriert sich dabei auf die thermisch relevantesten Ströme. Auf der Grundlage einer solchen Stromtabelle kann leicht eine Wärme- und Kälteverbundkurve erstellt werden, die das theoretisch maximale Potential für Wärmerückgewinnung über die Wärmetauscher für einen bestimmten ΔT_{min}-Wert anzeigt (vgl. auch Abschnitt 2.5).

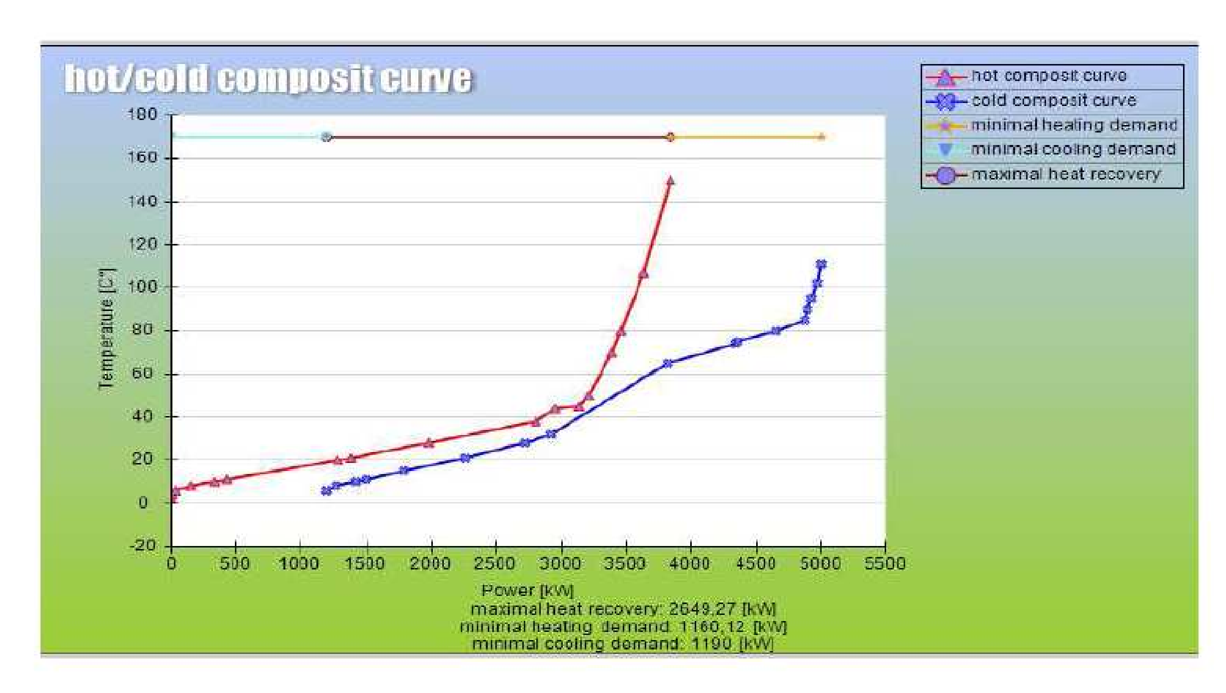


Abbildung 23: Wärme- und Kälteverbundkurve für eine Molkerei (mit Milch, Käse, Topfen (Quark) und Butterlinie)

Die Gesamtverbundkurve zeigt das Wärmerückgewinnungspotential eines Prozesses auf eine leicht unterschiedliche Weise, aber auf der Grundlage derselben Daten (Details in Abschnitt 2.5). Dabei wird der Unterschied zwischen der Wärme- und der Kälteverbundkurve ermittelt. Daraus kann die notwendige externe Wärme-/Kältezufuhr auf den verschiedenen Temperaturniveaus ermittelt werden.

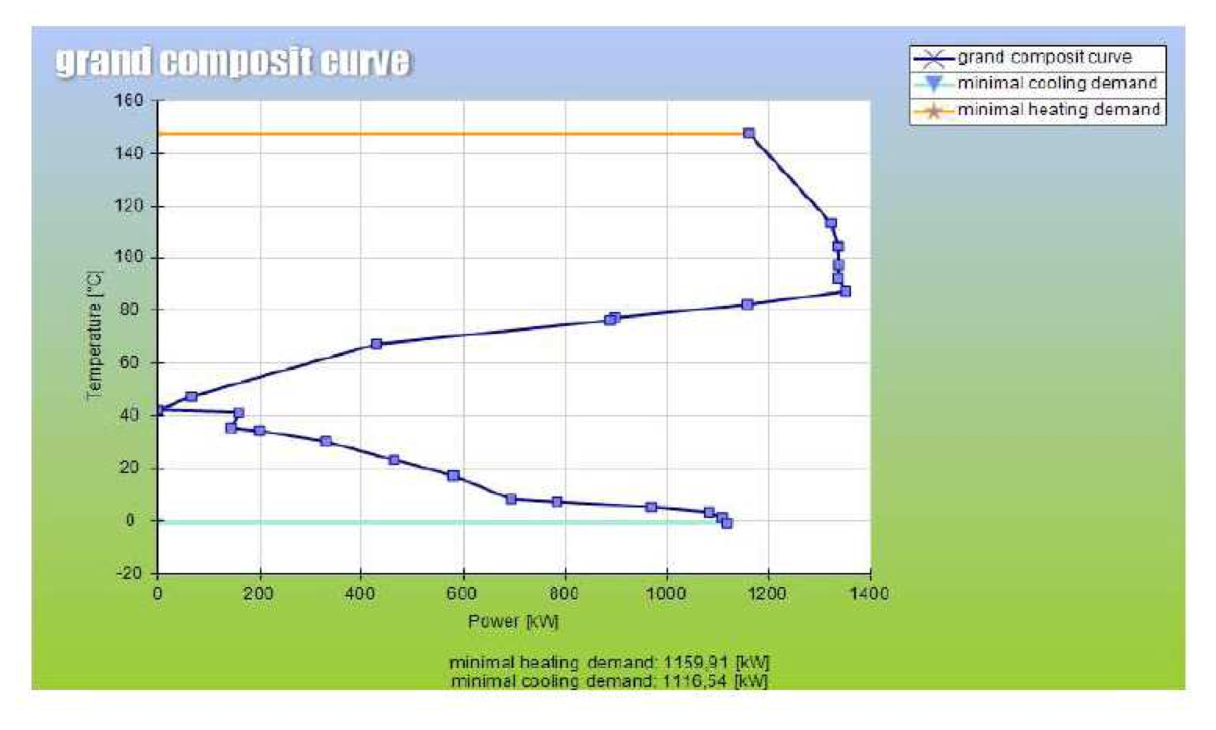


Abbildung 24: Gesamtverbundkurve für eine Molkerei

Auf Basis des theoretischen Potentials muss nun ein technisch und wirtschaftlich sinnvolles Wärmetauschernetzwerk geplant werden. Dabei müssen einige allgemeine Kriterien beachtet werden:

- Verwendung von Wärme auf einem bestimmten Temperaturniveau für das Erwärmen von anderen Strömen auf ein ähnliches Temperaturniveau (Verschwendung hochwertiger Energie (hohe Temperatur) für Niedrigtemperaturanwendungen sollte vermieden werden.)
- Leistung des Wärmetauschers

- Gesamte über die Wärmetauscher übertragbare Energie
  - Betriebszeiten der Prozesse – Wann sind welche Ströme aktiv und können zum direkten Wärmetausch eingesetzt werden?
  - Speicher – Braucht man Speicher für den Wärmetausch zwischen zwei Strömen, wie hoch sind die Speicherverluste und wie viel Energie kann insgesamt übertragen werden?
- Wärmeintegration innerhalb desselben Prozesses ist bevorzugt zu behandeln - direkte Verwendung von Abwärme
- Verwendung von Wärme, die von einem Kühler gekühlt werden muss, für einen Wärmeprozess erhöht die Energieeinsparungen durch Wärmetausch, da die externe Wärmezufuhr der Wärmequelle und der Wärmesenke eingespart werden kann.
- Entfernung zwischen der Wärmequelle (heißer Strom) und der Wärmesenke (kalter Strom)
- Praktische Probleme wie Verschmutzungen, Notwendigkeit für indirekten Wärmetausch über Wärmeträger, Temperatur, Druckaspekte usw.
- Investitionskosten und eingesparte Energiekosten

Diese Berechnungen können auch per Hand durchgeführt werden, für komplexe Systeme kann dieser Schritt jedoch sehr zeitintensiv ausfallen. Verschiedene Forschungsgruppen haben bereits Algorithmen für automatische Vorschläge für Wärmetauschernetzwerke entwickelt. Die Betriebszeiten und die Speicherplanung wurden jedoch meist nicht miteinbezogen. Des Weiteren wurden auch die Bevorzugung von interner Wärmerückgewinnung und das Ziel der höchst möglichen Energieeinsparungen für das gesamte Netz meist nicht berücksichtigt.

Innerhalb von EINSTEIN wird eine Methode für den automatischen Entwurf eines Wärmetauscher-Netzwerks angewandt, die auf der Strategie des maximalen Energierückgewinnungs-Netzwerk [Kemp, 2007] basiert. Diese wendet elementare Elemente der Pinch Design Methode [Linhoff und Hindmarsh 1983] an. Wärmetauscher werden auf Basis nominaler $q_m c_p$ Werte der Energieströme ausgewählt und später wird innerhalb der Wärmetauscher-Netzwerk-Simulation die Wärmetauscherleistung über variierende Enthalpien und Temperaturen über die Zeit simuliert. In dieser Simulation wird auch die Größe des Speichertanks berechnet.

Speicherkonzepte

Für die Entwicklung von Wärmerückgewinnungsnetzwerken ist vor allem das Miteinbeziehen von Batch-Prozessen und Speicherkonzepten von Bedeutung. Zuerst müssen die allgemeinen Betriebszeiten der verschiedenen Prozesse für eine typische Woche festgelegt werden. Dabei geht es nicht nur um den Beginn und das Ende einer Schicht, sondern auch darum, wie viele Chargen bearbeitet werden, um die Dauer einer Charge usw., damit die tatsächlichen Betriebszeiten abgebildet werden. Unter Abbildung 25 finden Sie das Beispiel für einen Käsefermenter.
In einem Käsefermenter wird zuerst Milch vorgewärmt, die dann im Fermenter bleibt, während vorgeheiztes Waschwasser hinzugefügt wird. Danach wird die Molke extrahiert und gekühlt. Für diesen schwierigen Prozess gehen wir davon aus, dass der Fermenter nach jeder 2. Charge gereinigt werden muss. Wenn zwei Fermenterlinien parallel in Betrieb sind, wird der Ablauf kontinuierlicher, da die beiden Linien zeitverschoben arbeiten können.
Es ist offensichtlich, dass Betriebsmanagement und intelligentes Planen des Wärmebedarfs nicht nur die Spitzenlasten verringern, sondern auch die Kontinuität von Strömen erhöhen kann.

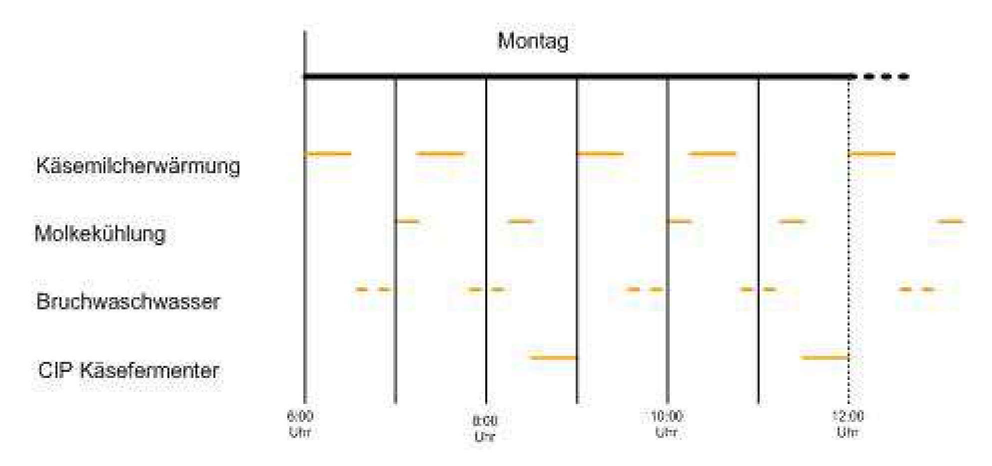


Abbildung 25: Zeitplan eines Käsefermenters

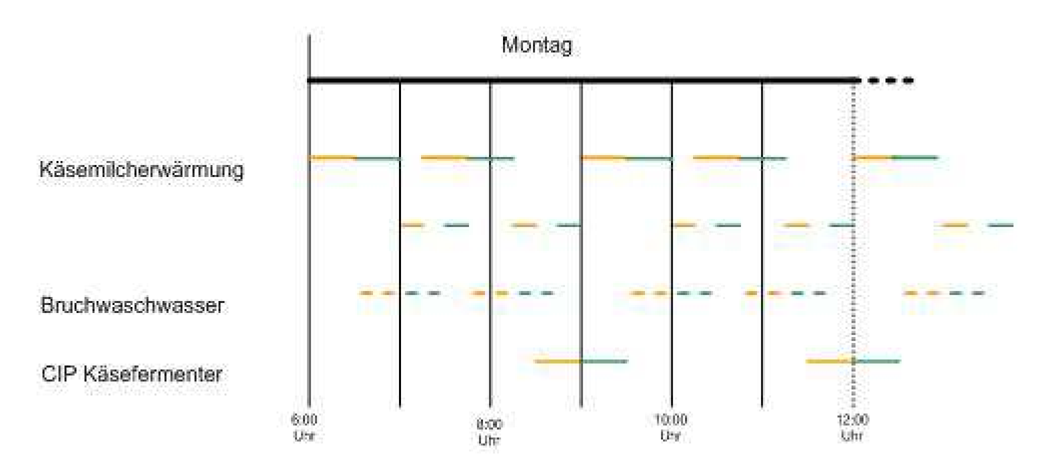


Abbildung 26: Betriebszeiten von zwei zeitverschoben laufenden Käsefermentern

Es gibt jedoch viele Beispiele für Prozesse, bei denen keine absolute Kontinuität erreicht werden kann. Bei unserem Beispiel mit dem Fermenter gibt es immer noch Unterbrechungen in den Produktionsabläufen. Wenn wir die Wärme zwischen der vorzuwärmenden Milch und der zu kühlenden Molke tauschen möchten, geht das nur mit einem Speicher.

Ein Zeitintervall-Modell kann hierfür eingesetzt werden. Zeitintervalle werden durch den Beginn und das Ende eines Prozesses definiert. Daraus ergeben sich vier Arten von Zeitintervallen:

1. Nur die Wärmequelle steht zur Verfügung.
2. Nur die Wärmesenke benötigt Energie.
3. Die Quelle und die Senke sind gleichzeitig aktiv.
4. Kein Strom ist aktiv.

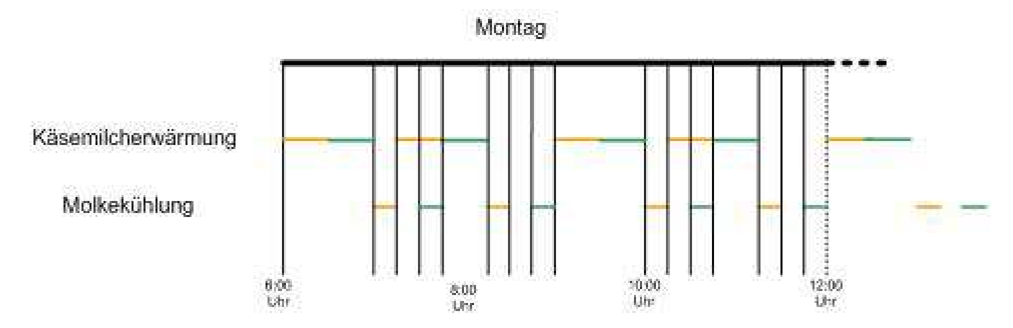


Abbildung 27: Zeitintervall-Modell für das Vorwärmen der Käsemilch und das Kühlen der Molke

Es gibt bereits Methoden, die Zeitintervalle für das gesamte Strömenetzwerk anwenden und dann die Wärmetauschernetzwerke für jedes Zeitintervall berechnen. Wir schlagen eine andere Methode vor, die erst nach einigen der erwähnten Kriterien zwei Ströme für einen Wärmetauscher auswählt, dann deren Speicherkapazität für das Zeitintervall-Modell und schließlich die gesamte zwischen den beiden Strömen

übertragbare Energie errechnet. Das wird für mehrere Kombinationen von Strömen durchgeführt, aus denen dann die beste Kombination (am meisten Energieeinsparungen mit nur einem Wärmetauscher) ausgewählt wird.

Für jedes Zeitintervall kann der Unterschied bezüglich des Energiebedarfs und der Verfügbarkeit errechnet werden. Dieser Energieüberschuss oder -bedarf ist die Grundlage für die Planung des Speichers. Die Planung erfolgt über eine Simulation, bei der die Kumulation, die angemessene Speichergröße, das derzeitige Speichervolumen und die jeweiligen Verluste für jeden Zeitabschnitt berücksichtigt werden.

Es ist wichtig, festzuhalten, dass dieser erste Planungsschritt für die Speicher nur auf einer energetischen Simulation für einen Standardspeichertank basiert und die für jeden Wärmetauscher vorgeschlagene Speicherkapazität zeigt. Auf dieser Grundlage können die ExpertInnen bestimmen, wie viele Speicher mit welchen Temperaturniveaus dann tatsächlich installiert werden sollen.

Vorgeschlagene Wärmetauscher und Planung

Um den höchst möglichen Energietransfer sicherzustellen, werden in dieser Planungsphase nur Gegenstromwärmetauscher vorgeschlagen.

Für eine erste Abschätzung der Investitionskosten für die Wärmetauscher muss die Fläche der Wärmetauscher bestimmt werden. Wie bereits erwähnt (vgl. Abschnitt 2.5) können die Investitionskosten durch die Energieeinsparungen wettgemacht werden, je nach gewähltem ΔT_{min}. Es gibt dazu in der Literatur Angaben, welche ΔT_{min}-Standardwerte auf der Basis der Temperatur und des physikalischen Zustands des Mengendurchflusses (flüssig, gasförmig, kondensierend) gewählt werden sollten.

Des Weiteren muss auch der Wärmeübergangskoeffizient festgesetzt werden, um die notwendige Fläche für den Wärmetausch errechnen zu können. Für eine erste Abschätzung können Durchschnittswerte für verschiedene physikalische Zustände von Strömen verwendet werden, die dann in Folge unter Berücksichtigung der tatsächlichen Beschaffenheit der Ströme neu berechnet werden müssen.

In der folgenden Tabelle finden Sie einige bei EINSTEIN verwendete Standardwerte.

Tabelle 11: Standardwerte für ΔTmin und den Wärmeübergangskoeffizienten α

Physikalischer Zustand	ΔTmin [°C]	Wärmeübergangskoeffizient U [W/m²K]
Flüssig	5	5.000
Gasförmig	10	100
Kondensation	2,5	10.000

In der Praxis hängen die Wärmeübergangskoeffizienten U ($= 1/\alpha_1 + s/k + 1/\ \alpha_2$) vom Typ des Wärmetauschers und der erzeugten Turbulenz, sowie vom Material des Wärmetauschers ab. Die in der Tabelle angegebenen, durchschnittlichen Wärmeübergangskoeffizienten jedes Stroms im Wärmetauscher sind jedoch die Grundlage für gute Einschätzungen aller Wärmeübergangskoeffizienten in den verschiedenen Typen von Wärmetauschern. Edelstahl kann als Standardwert für das Material der Wärmetauscher gewählt werden.

Tabelle 12: Wärmetauschertypen und gesamte Wärmeübergangskoeffizienten

Wärmetausch	In EINSTEIN gewählter Wärmetauscher	Gesamter Wärmeübergangs-koeffizient (Material = Edelstahl) U [W/m²K]	Durchschnittswerte in den VDI Wärmeatlanten [W/m²K]
Flüssig – flüssig	Plattenwärmetauscher	2.143	1.000 – 4.000
Gasförmig –flüssig	Glattrohrwärmetauscher	97	15-70
Kondensation – flüssig	Glattrohrwärmetauscher	2724	500 – 4.000
Gasförmig – gasförmig	Glattrohrwärmetauscher	50	5-35
Kondensation – gasförmig	Glattrohrwärmetauscher	99	20 - 60

Für die erste Abschätzung werden hier nur Plattenwärmetauscher und Rohrwärmetauscher verwendet. Wenn die Fläche für den Wärmetausch geschätzt ist, ist auch die Wahl des Wärmetauschertyps für eine erste Kostenabschätzung von Bedeutung. Dafür kann man entweder Kostenberechnungsmethoden aus der Literatur zu Rate ziehen oder Daten von Anbietern einholen.

Wärmebedarf und Verfügbarkeitskurven

Nachdem das Wärmetauschersystem geplant wurde und die durch Wärmerückgewinnung erzielten Einsparungen bestimmt wurden, können die verbleibenden Wärmebedarfs- und Verfügbarkeitskurven erstellt werden. Sie dienen als Grundlage für die weitere Planung des Energieversorgungssystems. Jahreslastkurven sind ein guter Ausgangspunkt für die Planung neuer Versorgungsanlagen, da sie zeigen, wie viel Wärme in wie vielen Stunden des Jahres benötigt wird. Die ideale Größe der Anlagen und deren Volllaststunden können so ermittelt werden.

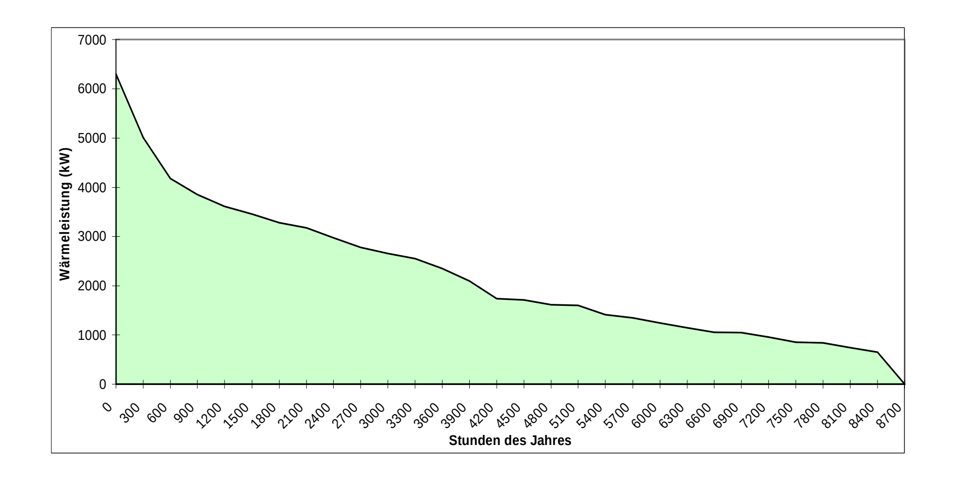


Abbildung 28: Jahreslastkurve

Mit den Daten der Energieflüsse und ihren Betriebszeiten können solche Lastkurven mittels der Pinch-Analyse erstellt werden. Da in den Energieströmen auch die Temperaturen angegeben sind, können auch Wärmebedarfslastkurven nach verschiedenen Temperaturniveaus erstellt werden. So können ExpertInnen entsprechend dem Wärmebedarf auf verschiedenen Temperaturniveaus (Details in Abschnitt 3.7.4) passende Versorgungsanlagen konzipieren.

Neuplanung des Wärmetauschernetzwerks aufgrund von veränderten Energieversorgungssystemen

Manchmal kann es notwendig sein, das Wärmetauschernetzwerk neu zu planen, nachdem Änderungen im Energieversorgungssystem vorgenommen wurden. Dieser Fall könnte eintreten, wenn beispielsweise ein Wärmetauscher das Abgas eines Heizkessels verwendet, der zu einem späteren Zeitpunkt durch eine Kombination aus einem Biomassekessels und einer Solaranlage ersetzt wird. Die ExpertInnen müssen das vorgeschlagene Wärmetauschernetzwerk auf jeden Fall überprüfen, nachdem Änderungen im Energieversorgungssystem vorgenommen wurden. EINSTEIN ermöglicht es auch, das Wärmetauschernetzwerk auf der Basis der zukünftigen Energiebilanz mit neuen Versorgungsanlagen neu zu berechnen.

Referenzen:

Brienza, Gandy, Lackenbach (Hrgs.) (1983). Heat Exchanger Design Handbook

Kemp I.C. (2006). Pinch Analysis and Process Integration

Linnhoff B., Hindmars E. (1983): The Pinch Design Method for Heat Exchanger Networks, Chemical Engineering Science 38, No. 5, 745-763

Morand R., Bendel R., Brunner R., Pfenninger H., (2006): Prozessintegration mit der Pinchmethode, Handbuch zum BFE-Einführungskurs, Bundesamt für Energie, Bern, 2006

Schnitzer H., Ferner H. (1990). Optimierte Wärmeintegration in Industriebetrieben, DBV Verlag, Graz, 1990

Richard Turton, Richard C. Bailie, Wallace B. Whiting, Joseph A. Shaeiwitz (1998). Analysis Synthesis and Design of Chemical Processes.

Verein Deutscher Ingenieure (2006). VDI Wärmeatlas

3.7.4 Entwurf von alternativen Versorgungssystemen (inkl. Einsatz von anderen Brennstoffen und Veränderungen im Verteilungssystem)

Das Ziel

Nachdem die Möglichkeiten für Wärmerückgewinnung und die Veränderungen der Prozesstemperatur untersucht und umgesetzt wurden (Das erfordert meist weniger Investitionsbedarf als Veränderungen im Wärme- und Kälteversorgungssystem und kann den Energiebedarf bereits bedeutend verringern), folgt der nächste wichtige Schritt in der EINSTEIN Audit-Methode: die Erarbeitung und der Entwurf von alternativen Versorgungsmöglichkeiten, die den Energieverbrauch noch weiter drosseln sollen.

Ein Alternativvorschlag für die Wärme- und Kälteversorgung setzt sich aus alternativen Wärme- und Kälteversorgungsgeräten und einem alternativen Verteilungssystem zusammen, die das bestehende System ersetzen und Energieeinsparungen mit den daraus folgenden Vorteilen für Umwelt und Wirtschaftlichkeit ermöglichen. Der Entwurf dieses alternativen Systems besteht aus der Auswahl der passenden Anlagen und aus der Bewertung ihrer Energieleistung, unter Berücksichtigung des Bedarfs und der Verfügbarkeit an Wärme- und Kältebedarf der Prozesse und deren zeitliche Verteilung.

Der Ausgangspunkt für die Planung des Wärme- und Kälteversorgungssystems ist daher die Analyse (Aufgliederung) des Gesamtenergiebedarfs nach der Prozessoptimierung, Wärmerückgewinnung und Entwurf der Speicher, unter Berücksichtigung folgender Aspekte:

- Temperaturniveau des verbleibenden Wärmebedarfs (nach der Wärmerückgewinnung)
- Menge des Wärmebedarfs und verfügbare Abwärme
- zeitliche Verteilung des Wärmebedarfs und verfügbare Abwärme
- verfügbarer Raum
- Verfügbarkeit von alternativen Energieträgern und deren Kosten (Biomasse, …)

Methodischer Ansatz

Die Optimierung des gesamten Wärme- und Kälteversorgungssystems basiert auf der Annahme, dass es eine *Wärmeversorgungskaskade* für den gesamten Wärme- und Kältebedarf gibt:

- Die effizientesten Anlagen sind für die Wärmeversorgung bei Grundlast (großer Teil der Betriebszeit) und bei relativ niedrigen Temperaturen zuständig.
- Die verbleibende Spitzenlast und/oder der verbleibende Bedarf an hohen Temperaturen werden von weniger effizienten Anlagen, die für diesen Zweck geeignet sind, gedeckt.

Dieser Ansatz der Wärmeversorgungskaskade ist noch keine Optimallösung und berücksichtigt auch die Besonderheiten eines bestimmten Wärmeverteilungssystems nicht. Es dient jedoch als gute erste Annäherung, die dann per Hand optimiert und an den Einzelfall angepasst werden kann, je nach Erfahrung der AuditorInnen.

Die Planung des gesamten Versorgungssystems erfolgt in den folgenden Schritten:

- Wahl der Anlagenart, die in der Wärmeversorgungskaskade angewendet werden soll, und Anordnung der Kaskade. Dieser Schritt muss größtenteils von den AuditorInnen manuell ausgeführt werden, wenngleich die EINSTEIN Software auch standardmäßig eine empfohlene Anlagenanordnung vorschlägt.

- Dimensionierung jedes einzelnen Teils der Anlage in der Kaskade. Dafür stellt die EINSTEIN Software sogenannte „*Planungsassistenten*“ für mehrere Technologien zur Verfügung. Diese automatische oder halbautomatische Vorplanung kann dann nach Wunsch manuell feinabgestimmt werden.

- Wahl der optimalen Zusammensetzung des gesamten Systems. Dieser Schritt muss a posteriori in einem „Trial und Error“-Verfahren durchgeführt werden: Verschiedene alternative Kombinationen von Technologien werden nacheinander erarbeitet und schließlich auf ihre Energieleistung, Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit hin verglichen.

- Oft muss die Optimierung der Abfolge Wärmerückgewinnung – Wärme- und Kälteversorgungssystem iterativ (in mehreren Wiederholungen) durchgeführt werden, da eine Änderung im Versorgungssystem zu Änderungen bezüglich der verfügbaren Abwärme führen kann, was wiederum das Potential für Abwärmerückgewinnung beeinflussen könnte.

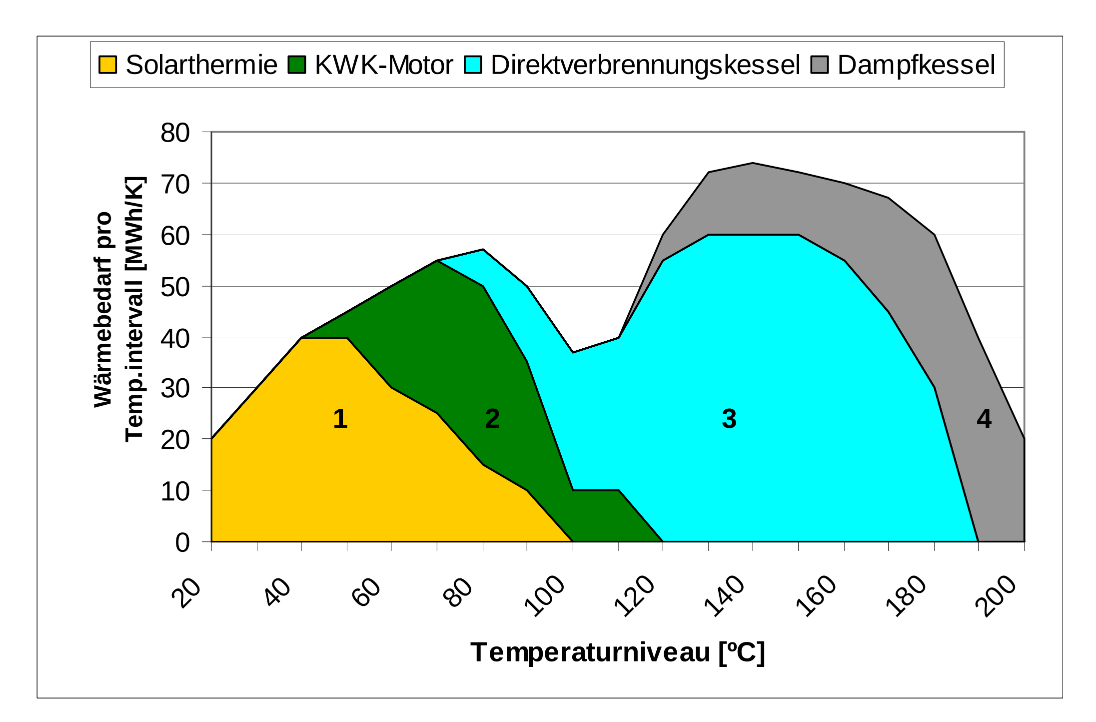


Abbildung 29: Beispiel: Beitrag einer Wärmeversorgungskaskade mit verschiedenen Anlagearten zum Gesamtwärmebedarf bei verschiedenen Temperaturniveaus.

3.7.4.1 Wärme- und Kältespeicherung

Der Großteil der energieeffizienten (Wärme- und Kälte-) Versorgungstechnologien (wie zum Beispiel KWK, Wärmepumpen, erneuerbare Energiequellen, die in der Folge beschrieben werden) unterscheiden sich von den (heutigen) „Standard“-Technologien durch:

- weniger Energieverbrauch und daher geringere Betriebskosten

- üblicherweise höhere Investitionskosten

Während die Anschaffungskosten fix sind (nur abhängig von der Art der Anlage), steigen die Energieeinsparungen mit den Betriebsstunden der Anlagen pro Jahr. Das bedeutet, dass die Wirtschaftlichkeit dieser Technologien stark davon abhängt, wie kontinuierlich sie in Betrieb sind (Länge der Betriebszeiten).

Aus diesem Grund sollten solche Anlagen für Grundlastanwendungen eingesetzt werden, während die Spitzenlast kostengünstiger von billigeren, wenn auch energetisch weniger effizienten Technologien gedeckt werden kann.

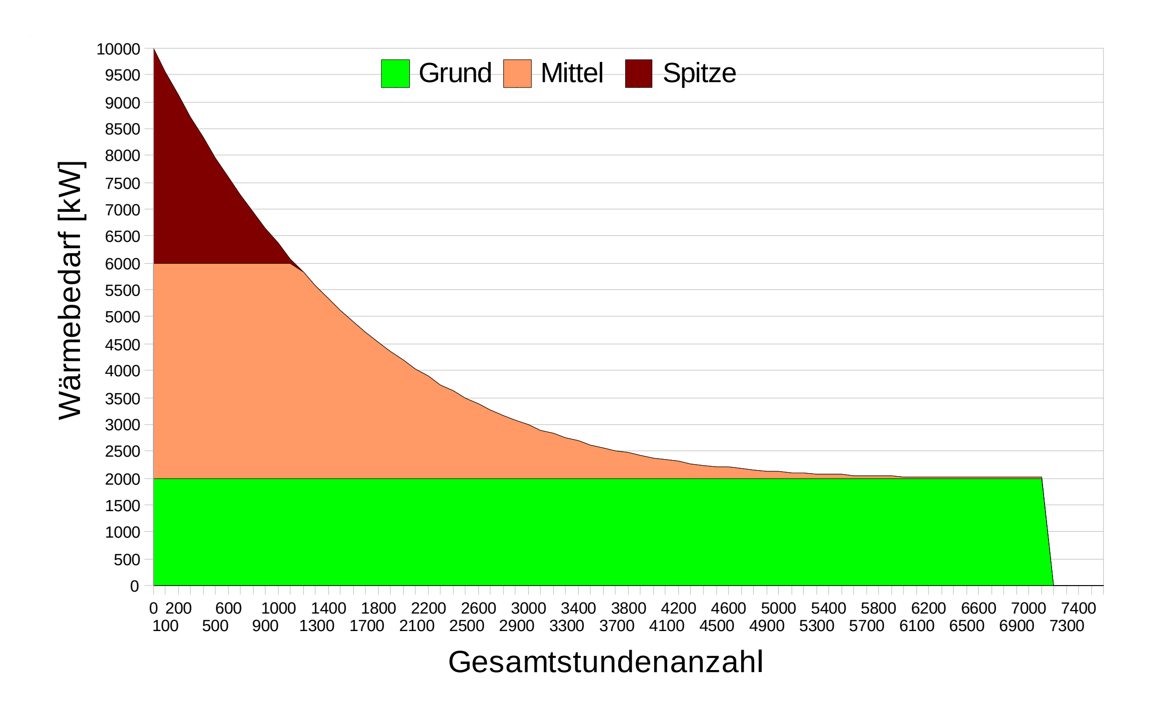


Abbildung 30: Dimensionierung der Anlage für Grundlast, Mittellast und Spitzenlast

Wärme- und Kältespeicher können in vielen Fällen eingesetzt werden, um die Spitzenlast zu verringern und den Anteil der Grundlast zu erhöhen. Somit kann ein größerer Anteil am Gesamtbedarf von energieeffizienten Versorgungsanlagen gedeckt werden.

Ein optimiertes Wärme- und Kältespeichersystem darf daher nicht als unabhängige Technologie betrachtet werden, sondern als wichtiger Bestandteil aller energieeffizienten Optionen für die Wärme- und Kälte-(WK) Versorgung.

Die wichtigsten WK-Speichersysteme sind:

- sensible WK-Speicher in Form von heißem/kaltem Wasser (in Drucktanks sind Speichertemperaturen bis über 150 °C möglich.)
- Sattdampf-Speichertanks
- Thermoöl
- feste Speichermedien (Keramik, Steinbetten…)
- latente Wärmespeicher mit unterschiedlichen Phasen-Wechsel-Materialien
- Eisspeicher und Latentkältespeicher in anderen Speicherstoffen
- thermochemische Speicher

3.7.4.2 Energieeffiziente Wärme- und Kälteverteilung

Oft kann eine Veränderung der Wärme- und Kälteverteilung dazu beitragen, den Energieverbrauch zu verringern. Dabei sollten die folgenden Möglichkeiten in Betracht gezogen werden:

- *Senkung des Temperaturniveaus:* eine Senkung des Temperaturniveaus in den Verteilungssystemen kann dazu beitragen, die Verluste bei den Leitungen und Speichern zu verringern, und die Umwandlungseffizienz in den Versorgungsgeräten (Heizkessel usw.) zu erhöhen. Die Senkung des Temperaturniveaus könnte auch nötig sein, wenn energieeffiziente Technologien (z.B. KWK, Wärmepumpen, Solarthermie) eingesetzt werden sollen.

- *Direktverbrennung:* In machen Fällen (z.B. Trockenverfahren, Erhitzen von Bädern) kann Direktverbrennung oder direkte Nutzung von Abgasen (z.B. aus Gasturbinen) die Systemeffizienz erhöhen, da einerseits Verteilungsverluste vermieden werden und andererseits die Kondensationswärme von Wasserdampf aus den Abgasen genutzt wird (z.B. beim Erhitzen von Bädern). Direktverbrennung / direkte Nutzung von Abgasen ist normalerweise nur mit relativ reinen Brennstoffen wie Erdgas oder Biogas möglich.

3.7.4.3 Kraft-Wärme-(Kälte-) Kopplung (KWKK)

Die Kraft-Wärme-Kopplung ist derzeit die energieeffizienteste Art, Strom zu erzeugen (außer Stromproduktion aus erneuerbaren Energieträgern), da sie den Umwandlungsprozess von Brennstoff in Energie optimiert, indem sowohl Wärme, als auch Strom erzeugt werden, nicht ausschließlich Wärme oder ausschließlich Strom. Thermodynamisch gesehen ist die Kraft-Wärme-Kopplung das absolut effizienteste System, da es bei jeder Menge an Brennstoffzufuhr (egal ob Erdgas, Biomasse oder Flüssigbrennstoffe) Wärme und Strom mit minimalen Verlusten (üblicherweise zwischen 10 und 25%) erzeugt. Die gängigen reinen Stromerzeugungssysteme weisen Umwandlungsverluste von mindestens 45% auf.

Um die Energieeinsparungen zu maximieren, sollte eine KWK-Anlage geplant werden, die das Industriegelände vor Ort versorgt. Damit wird das KWK-System optimiert. Erzeugte Stromüberschüsse können in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Dafür erhält man üblicherweise einen Einspeisetarif oder Zertifikate (Achtung! Oft ist in der nationalen Gesetzgebung ein Minimalanteil an Stromeigenverbrauch vorgesehen). KWK-Anlagen nur für die Stromerzeugung, bei denen die *Überschusswärme* an die Umgebung abgegeben wird, sollten vom Standpunkt der Energieeffizienz vermieden werden, außer wenn die Stromeffizienz der KWK-Anlage höher ist als die durchschnittliche Umwandlungseffizienz des alternativen Stromnetzes.

Man kann die Einsparungen an Primärenergie durch Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf mehrere Arten berechnen: Man kann die Einsparungen ermitteln, indem man die Ausgaben mit denen für die getrennte Wärme- und Stromerzeugung mit demselben Brennstoff vergleicht (z.B. feste Biomasse, wenn das KWKK-System mit dieser betrieben wird). Alternativ kann man auch durchschnittliche Netzstromzahlen (z.B. die nationalen oder die UCTE-Zahlen über den Erzeugermix) für die Berechnungen verwenden. Da bei der KWK sowohl Wärme als auch Strom erzeugt werden, können die Energieeinsparungen entweder der erzeugten Wärme oder dem erzeugten Strom zugeordnet werden, oder anteilsmäßig beiden. Derzeit gibt es zwei verbreitete Ansätze in Europa:

- Beim Ansatz aus der Richtline Kraft-Wärme-Kopplung 2004/8/EG wird das KWK-System mit der getrennten Erzeugung von Wärme und Strom verglichen (anhand von Referenzwerten für Effizienz für die getrennte Erzeugung). Dieser Ansatz ist „symmetrisch" für Wärme und Strom.

- Beim Ansatz der „*äquivalenten Stromeffizienz*", der in Ländern wie Spanien und Portugal angewendet wird, wird die Energiemenge, die für die Wärmeerzeugung in einem konventionellen System gebraucht würde, von der gesamten Brennstoffzufuhr abgezogen. Danach wird eine theoretische Stromeffizienz errechnet (die sehr hoch sein kann, normalerweise deutlich über 60%).

Da es bei EINSTEIN vor allem um die Versorgung mit *thermischer* Energie geht und da – wie bereits erwähnt – der Betrieb von KWK-Anlagen optimalerweise vom eigenen Bedarf an *thermischer* Energie bestimmt werden sollte, geht es uns um den spezifischen Nettoverbrauch an Primärenergie pro Wärmeeinheit, die mit KWK erzeugt wird, der sich wie folgt errechnet:

$$\frac{\Delta E_{PE}}{\Delta Q} = \frac{f_{PE}}{\eta_{th}^{CHP}}\left(1 - \frac{\eta_{el}^{CHP}}{\eta_{el}^{grid}}\right) \qquad (3.2)$$

Der spezifische Nettoverbrauch an Primärenergie kann sogar negativ (!) sein, wenn die Stromeffizienz des KWK-Werks höher ist als die durchschnittliche Stromeffizienz der Kraftwerke im Stromnetz.

Mittelfristig gesehen wird sich das jedoch ändern, da die Effizienz des Stromnetzes steigt (da die Kraftwerke effizienter werden und – hoffentlich – ein immer größerer Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energieträgern gewonnen wird). Bei einem zukünftig effizienteren Stromnetz nehmen die relativen Einsparungen mittels KWK ab.

Wie bei den meisten energieeffizienten Anlagen ist der Betrieb eines KWK-System nur bei einer hohen Anzahl an Betriebsstunden (normalerweise mehr als 4000 h/Jahr) wirtschaftlich. Daher sollte die KWK für die Abdeckung der Grundlast und/oder in Kombination mit einem Wärme- oder Kältespeicher eingesetzt werden.
Neben der Wärmeversorgung kann die KWK auch den Kältebedarf decken (sogenannte *Trigeneration*: Strom + Wärme + Kälte, KWKK) und zwar in Kombination mit Kältemaschinen (z.B. Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen), die Wärme in Kälte umwandeln. Kältemaschinen brauchen normalerweise je nach Technologie eine Wärmezufuhr von zwischen 80 °C und 180 °C.

Die Wahl der passenden Technologie für die KWK hängt von der Menge, der Kontinuität und dem Temperaturniveau des Wärmebedarfs ab.

Tabelle 13: Verfügbare KWK-Technologien

KWK-Technologie	Temperaturniveau	Effizienz (elektrisch/thermisch)
Gas- oder Heizölmotor	< 95 ºC (Kühlwasser) < 400 ºC (Abgas)	(40% / 45 %)
Gasturbine	< 400 ºC	(30 % / 60 %)
Dampfturbine	< 250 ºC (praktischer Grenzwert; abhängig von Gegendruck)	(20-30 % / 65 %)
Kombinierter Kreislauf (Gasturbine + Wärmerückgewinnung Dampfgenerator + Dampfturbine)	< 250 ºC (praktischer Grenzwert; abhängig von Gegendruck in Dampfturbine)	(50-55 % / 35-40%)
ORC-Turbine (organischer Rankine-Kreislauf)	< 250 ºC	*(27-50% / 30-55 %)*
Stirling-Motor	*<90 °C*	*(10-25 % / 60-80 %)*
Brennstoffzelle	*<80 °C (PEM-Technologie)* *<400 °C (SOFC-Technologie)*	*(45-60 % / 30-50 %)*

Referenzen:

OPET: Combined heat and power and district heating project. www.opet-chp.net.

COGEN*challenge:* The European information campaign on small-scale cogeneration. www.cogen-challenge.org.

COM 2004/8/EG: Richtlinie über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt

http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2004L0008:20040221:DE:PDF

UK Department for Environment, Food and Rural Affairs: Action in the UK - Combined heat and power. www.defra.gov.uk/environment/climatechange/uk/energy/chp/index.htm.

American Council for an Energy Efficient Economy: CHP – Capturing wasted Energy. www.aceee.org/pubs/ie983.htm

3.7.4.4 Wärmepumpen

Wärmepumpen werden eingesetzt, um das Temperaturniveau einer Abwärmequelle (oder der Wärme aus der Umgebung: Außenluft oder Erdboden) so weit zu erhöhen, dass diese Wärme im Versorgungssystem verwendet werden kann.

Es gibt Wärmepumpen in unterschiedlichen Größen und mit unterschiedlichen Konzepten. Die wichtigsten Typen von Wärmepumpen für die industrielle Anwendung sind:

- *mechanische Dampfkompressions-Wärmepumpen*, die normalerweise mit elektrischer Energie betrieben werden
- Absorptions-Wärmepumpen, die mit thermischer Energie in Form von Heißwasser oder Dampf arbeiten
- Dampfstrahlpumpen, die mit Dampf angetrieben werden

Typische Anwendungsbereiche in der Industrie sind das Beheizen und Kühlen von Prozesswasser, Trocknungsverfahren, Raumwärme, Verdampfungs- und Destillationsprozesse und die Abwärmerückgewinnung.

Folgende Punkte sollten beim Einsatz von Wärmepumpen beachtet werden:

- *Temperatur der erzeugten Wärme.* Diese ist von der Art der Wärmepumpe und des Arbeitsmittels abhängig, liegt jedoch normalerweise zwischen 55 und 120 °C. Einige Kompressionspumpen mit Wasser als Kühlmittel können für höhere Temperaturen eingesetzt werden, normalerweise zwischen 80 und 150° C. In Testanlagen wurden schon Temperaturen von bis zu 300 °C erreicht.
- *Temperaturhub.* Der Leistungskoeffizient (COP) der Wärmepumpen hängt stark vom Temperaturhub ab, d.h. vom Temperaturunterschied zwischen der Wärmequelle und der erzeugten Wärme. Höhere COPs werden bei kleineren Temperaturhüben erzielt. Normalerweise liegt der Temperaturhub bei den meisten Anwendungen zwischen 20 und 40 K.
- *Betriebszeiten.* Wärmepumpen sparen wie auch andere energieeffiziente Technologien Energie und Betriebskosten, sind jedoch in der Anschaffung kostenintensiv. Daher ist es sinnvoller, sie anzuwenden, wenn der Wärmebedarf kontinuierlich ist und hohe Auslastungsfaktoren sicherstellt.
- *Pinch-Temperatur.* Die Pinch-Temperatur (vgl. Abschnitt 2.5) teilt den Gesamtwärmebedarf in zwei Hälften: Über der Pinch-Temperatur wird eine externe Wärmezufuhr benötigt, während unterhalb der Pinch-Temperatur überschüssige (Ab-)Wärme vorhanden ist. Die Wärmepumpe sollte also „*rund um den Pinch* “ angelegt sein, was bedeutet: Sie nutzt Wärme mit einer Temperatur unter dem Pinch (wenn Überschuss vorhanden ist) und gibt sie mit einer höheren Temperatur über dem Pinch wieder frei, wo externer Wärmeeintrag notwendig ist.
- *Der Verlauf der Kurven für Wärmeversorgung und Wärmebedarf.* Der Einsatz von Wärmepumpen ist dann sinnvoll, wenn nach der Wärmerückgewinnung immer noch eine Überschneidung im kumulierten Wärmebedarf und der verfügbaren Abwärme vorhanden ist oder wenn das Temperaturgefälle (benötigter Temperaturhub) ausreichend gering ist.

Referenzen:

Informationen über Wärmepumpentechnologie und -anbieter finden Sie auf der Webseite des IEA Wärmepumpen-Zentrums: www.heatpumpcentre.org.

3.7.4.5 Solarthermie

Kopplung des Solarthermie-Systems an die Prozesse

Auf Dampf und Heißwasser aus Heizkesseln basierende Heizsysteme sind oft für viel höhere Temperaturen (150–180 °C) ausgelegt, als im Prozess benötigt werden (100 °C oder sogar weniger). Solarthermie sollte hingegen immer bei der geringst möglichen Temperatur an das bestehende Wärmeversorgungssystem angeschlossen werden. Trotzdem sollte die Solarwärme dem Wärmeträger erst nach einem Vorwärmen durch Abwärme zugeführt werden. Die Kombination beider Systeme erzielt viel bessere Ergebnisse als ein Solarthermie-System bei niedrigeren Temperaturen aber ohne Wärmerückgewinnung. Das Solarthermie-System kann auf verschiedene Weisen an das konventionelle Wärmeversorgungssystem gekoppelt werden, z.B. durch direkte Kopplung an einen speziellen Prozess, Vorheizen von Wasser und Dampferzeugung im Zentralsystem.

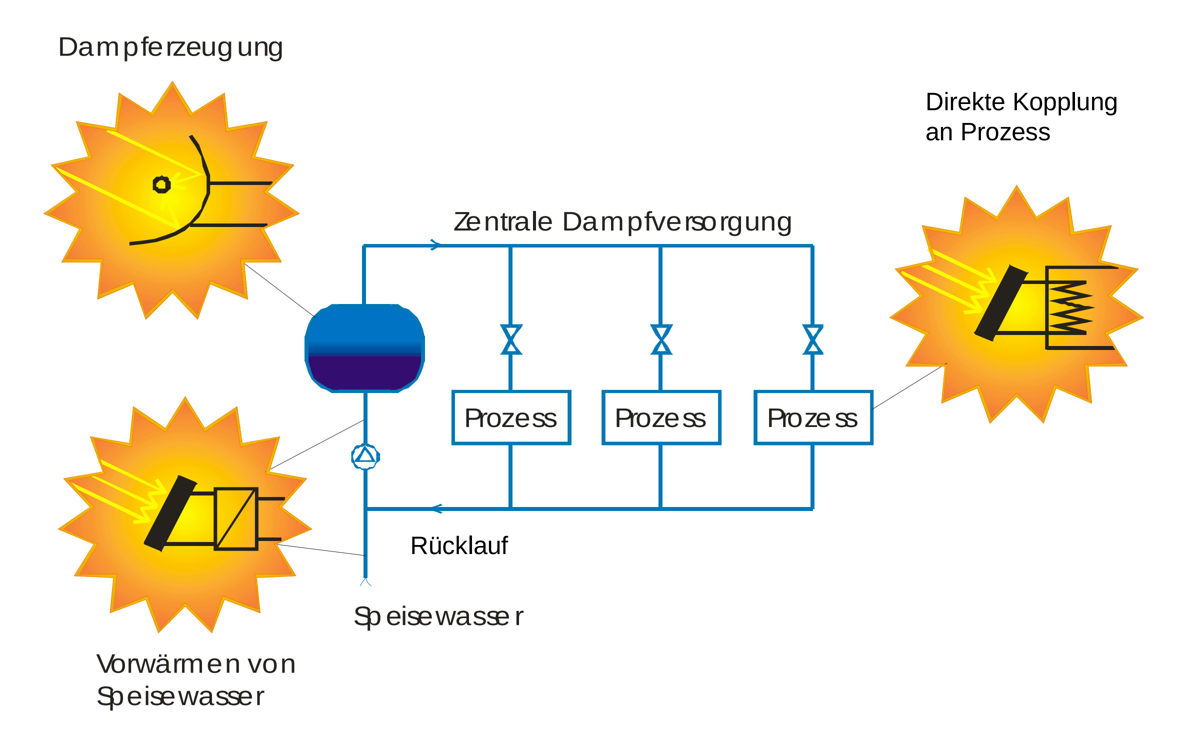


Abbildung 31: Kopplung des Solarthermie-Systems an die konventionelle Wärmeversorgung [1]

Wenn möglich sollte eine *direkte Kopplung* der Solarthermie-Systeme an einen oder mehrere Prozesse erfolgen. Die direkte Kopplung an einen Prozess wird meist auf die folgenden zwei Arten durchgeführt:

- *Vorwärmen eines Umlaufmediums* (z.B. Speisewasser, Rücklauf von geschlossenen Kreisläufen, Vorwärmen von Luft usw.). Normalerweise ist dabei die durchschnittliche Betriebstemperatur des Solarthermie-Systems niedriger als die letztendlich benötigte Prozesstemperatur. Wenn die Zirkulation diskontinuierlich ist, muss auch der Einsatz eines Speichertanks überlegt werden.

- *Aufheizen von Bädern, Behältern und/oder Warmkammern (z.B. beim Trocknen)*. Thermische Energie wird dafür benötigt, die Flüssigkeit auf die Betriebstemperatur zu bringen und auch dafür, die Prozesstemperatur konstant zu halten. Die üblichen Wärmetauscher in Prozessbehältern sind allgemein für Temperaturen ausgelegt, die für ein Solarthermie-System zu hoch sind. Wenn ein Austauschen der Geräte aus technischen Gründen nicht möglich ist, kann ein externer Wärmetauscher, der an eine Zirkulationspumpe gekoppelt ist, eingesetzt werden. Wenn die Prozessbäder gut isoliert sind, können sie als Speicher für die Solarwärme genutzt werden. Wenn die Temperatur während des Stillstands der Prozesse (normalerweise am Wochenende) durch das Solarthermie-System konstant gehalten wird, kann der Wärmebedarf für die Inbetriebnahme verringert werden.

Folgende Grundoperationen eignen sich besonders gut für die Integration von Solarthermiesystemen: Reinigung, Trocknen, Verdampfung und Destillation, Bleichen, Pasteurisierung, Sterilisierung, Kochen, Lackieren, Entfetten und Kühlen. Neben den Herstellungsprozessen gehören auch Raumwärme und Kühlung von Fabrikgebäuden zu den Anwendungen, die Energiezufuhr im niedrigen und mittleren Temperaturbereich benötigen. Es können auch solare Wärmesysteme mit wärmebetriebenen Kühlern verbunden werden.

In fast allen Industriebranchen ist auch eine *Kopplung eines Solarthermie-Systems an einen Heizkessel* möglich. Das erfolgt entweder über ein Vorheizen des Speisewassers der Dampfkessel oder über einen Solardampfgenerator. Im ersten Fall kann die Solarwärme entweder genutzt werden, um das Zulaufwasser im niedrigen Temperaturbereich vorzuwärmen (wenn keine andere Art der Wärmerückgewinnung möglich ist) oder um die Temperatur des Kondensats noch weiter zu erhöhen. Die Erzeugung von Solardampf ist nur an Standorten mit einer hohen Sonneneinstrahlung und mit konzentrierenden Kollektoren möglich.

Solarkollektoren für Prozesswärme

Der Wirkungsgrad (η) eines Sonnenkollektors ist folgendermaßen definiert:

$$\eta = c_0 - (c_1 + c_2 \Delta T) * \frac{\Delta T}{G_T} \tag{3.3}$$

wobei c_0 der optische Wirkungsgrad ist, c_1, c_2 sind die linearen und quadratischen Wärmeverlustkoeffizienten (c_1 [W/K m^2]; c_2 [W/K^{2}m^2]), ΔT [K] ist die Differenz zwischen der Durchschnittstemperatur des Solarwärmeträgers und der Umgebungstemperatur und G_T [W/m^2] ist die Menge an einfallender Sonnenstrahlung auf den Solarkollektor.

Von dieser Definition kann leicht abgeleitet werden, dass die Leistung stark vom Standort (d.h. der Bestrahlung) und von der Betriebstemperatur abhängt, welche in Zusammenhang mit den thermischen Verlusten beim Kollektor und in den Leitungen steht.

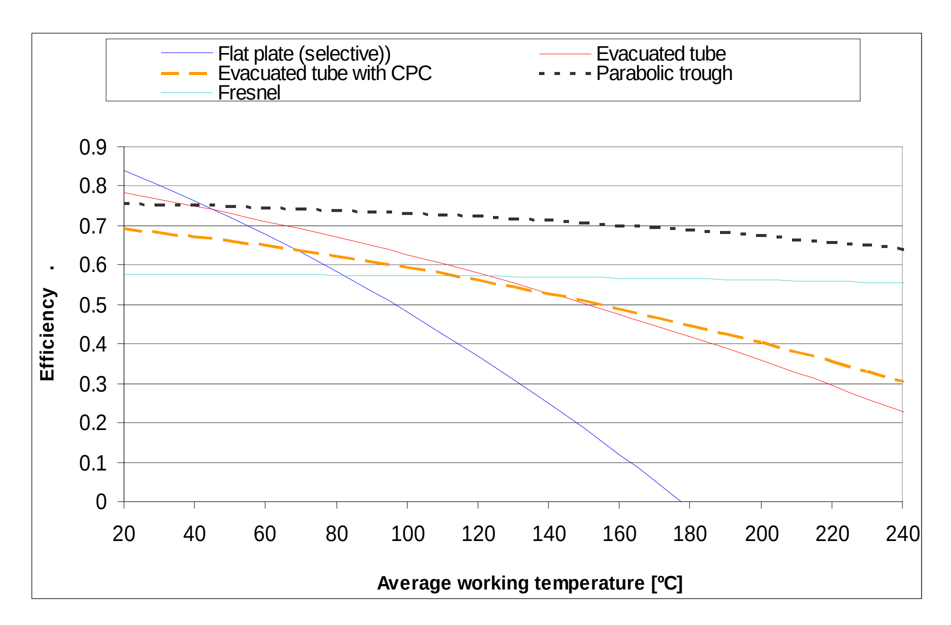


Abbildung 32: Wirkungsgrad verschiedener Arten von Sonnenkollektoren (bezogen auf die Apertur, senkrechte direkter Einstrahlung, GT=1000W/m²) [energyXperts 2010].

Derzeit sind für niedrige Prozesstemperaturen (bis zu ca. 80 °C) Flachkollektoren (mit oder ohne selektive Absorber) die praktikabelste Lösung. Andere Kollektortypen, die derzeit meist für höhere Temperaturen (bis zu 250 °C) eingesetzt werden, sind: Hocheffizienz-Flachkollektoren (z.B. mit doppelter Antireflex-Verglasung), Vakuumröhrenkollektoren, stationäre schwach konzentrierende Parabolrinnenkollektoren, schmale Parabolrinnenkollektoren und linienfokussierende Fresnelkollektoren. Neben diesen befinden sich derzeit noch andere konzentrierende Technologien wie beispielsweise Kollektoren mit stationären Reflektoren in der Entwicklungsphase.

Dimensionierung der Solarthermie-Anlage

Im Allgemeinen verhält sich der Solaranteil (der solare Beitrag zum gesamten Wärmebedarf) umgekehrt proportional zum spezifischen thermischen Ertrag des Systems (solarer Wärmeertrag pro installierter thermischer Leistung, oder pro Flächeneinheit des Solarkollektors). Wenn man ein Solarthermie-System plant, muss daher ein technoökonomisches Optimum festgelegt werden. Als Grundregel gilt: Mit steigendem Solaranteil nimmt der spezifische Energieertrag ab, da die Solarkollektoren steigende Betriebstemperaturen aufweisen und da die Situation, in der die Verfügbarkeit von Solarthermie den Bedarf übersteigt (insbesondere im Sommer), häufiger auftritt.

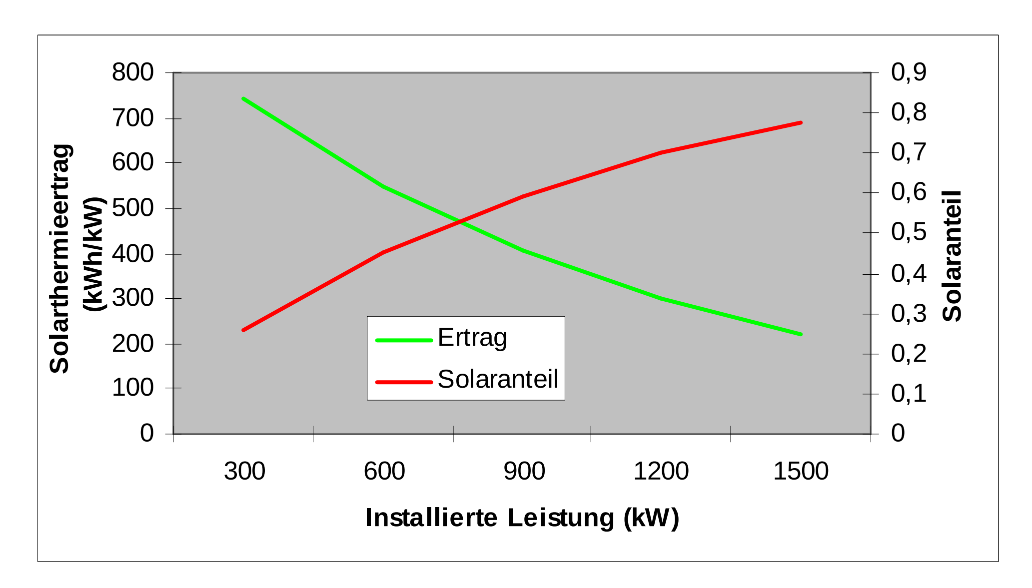


Abbildung 33: Solaranteil und Ertrag an thermischer Energie aus Solarthermie bei unterschiedlicher Anlagengröße

Lastprofil und Solarwärmespeicher

Wenn der Bedarf an Prozesswärme über den Tag und über die Woche kontinuierlich ist (z.B. ohne Unterbrechungen am Wochenende), benötigt man keinen Wärmespeicher für die Solarthermie-Anlage, und die Solarwärme kann der Endnutzung direkt zugeführt werden (Prozess oder Wärmeversorgungssystem). Das wäre eine ideale Situation, denn je einfacher das System angelegt ist, desto höher ist der gesamte Energieertrag und desto geringer fallen die Investitionskosten aus.

Wenn die Last die Woche über kontinuierlich ist, es aber über den Tag verteilt zu starken Schwankungen kommt, ist ein Wärmespeicher von 30–120 l/kW der Kollektoren sinnvoll. Wenn das Lastprofil signifikante Unterbrechungen (z.B. am Wochenende) aufweist, beträgt die empfohlene Speichergröße 120–200 l/kW. Speicher für längere Zeiträume (saisonaler Speicher) sollten nur für sehr große Systeme (> 3000 kW) in Betracht gezogen werden.

Erfahrungen

Bei der Machbarkeitsanalyse einer solaren Prozesswärmeanlage immer überprüfen:

- die Prozesstemperaturen
- das Lastprofil (Batch, kontinuierlich)
- die Verfügbarkeit von prozessimmanenten Wärmespeichern (z.B. Bäder, Leitungen)
- die Möglichkeiten der Kopplung der Solaranlage an die bestehenden industriellen Geräte (z.B. Wärmetauscher, Maschinen usw.) und der Verknüpfung mit dem konventionellen Wärmeversorgungssystem
- das Potential für Wärmerückgewinnung
- die Verfügbarkeit von Dach- und/oder Bodenfläche für die Installation (zusätzlich können Satelliten-Fotos verwendet werden).

Den letzten Punkt betreffend hat die Erfahrung gezeigt, dass die verfügbare Installationsfläche in Industrieanlagen eines der größten Hindernisse für den Einsatz von großen Solarthermie-Anlagen darstellt. Vergessen Sie also nicht, alle potentiell für die Installation verfügbaren Flächen genau zu prüfen!

Tabelle 14: Planungskriterien für Solarwärmeanlagen für industrielle Prozesse.

Kriterium	Einfluss auf die Energie- und Wirtschaftsleistung der Solarthermie-Systeme
Betriebstemperatur	Betriebstemperatur nicht über 200 °C, beste Leistung unter 100 °C
Klima	Sehr gute Bedingungen in den Ländern Süd- und Mitteleuropas
Kontinuität des Bedarfs Jährliche Schwankung Tägliche Schwankung	Unterbrechungen im Sommer verringern die Systemleistung. Die Verluste der Solarerträge sind im Vergleich zur Dauer der Unterbrechung überproportional hoch. Ein kontinuierlicher Bedarf oder ein Bedarf mit Spitzen tagsüber sind von Vorteil. Kurze Unterbrechungen (einige Stunden) können mit kleinvolumigen Speichern mit nur geringen Zusatzkosten abgefangen werden
Systemgröße	Die Wirtschaftlichkeit von Solarthermie-Systemen hängt sehr von der Systemgröße ab. Die Kosten für Solarenergie sind für große Systeme um bis zu 50% geringer als für kleine Systeme.
Solarertrag pro Jahr	Der Solarertrag pro Jahr sollte zumindest 400 kWh/m^2 ausmachen, um profitabel zu sein.
Solaranteil	Der Solaranteil der Systeme sollte nicht höher als ca. 60% sein (für kontinuierlichen Bedarf).
Verfügbare Dach- oder Bodenfläche	Genügend Dach- oder Bodenfläche sollte zur Verfügung stehen, um einen Solaranteil von 5-60% erreichen zu können. Eine südliche Ausrichtung mit einer Neigung von ca. Breitengrad -10° ist optimal für die Maximierung der Energieerzeugung über das Jahr. Geringe Abweichungen von diesen Wert sind tolerierbar (±45° von der südlichen Ausrichtung, ±15° von der idealen Neigung). Lange Rohrleitungen sollten vermieden werden.
Statische Aspekte des Dachs	Muss die Dachstruktur verstärkt werden, so erhöht das die Systemkosten und verringert die Wirtschaftlichkeit. Die zusätzliche statische Last von Sonnenkollektoren beträgt bei Standardprodukten 25 – 30 kg/m^2.
Abwärmerückgewinnung	Zuerst sollte untersucht werden, ob die Energieeffizienz durch Abwärmerückgewinnung erhöht werden könnte. Solarsysteme sollten den (bzw. den verbleibenden) Wärmebedarf decken.

Referenzen zu Solarthermie-Technologien für Prozesswärme:

C.Vannoni, R. Battisti, S. Drigo (2008): *Potential for Solar Heat in Industrial Processes.* Published by CIEMAT, Madrid (Spain) 2008. Website: www.iea-shc.org/task33/index.html

D. Jaehnig, W.Weiss (2007): Design Guidelines – Solar space heating of factory buildings. With underfloor heating systems. Published by AEE INTEC with financial support of the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology, Gleisdorf (Austria) 2007. Website: www.iea-shc.org/task33/index.html

energyXperts.NET (2010): Elaboration based on manufacturer data for group of best market available solar collectors in Spain.

ESTIF (2008): Solar Thermal Action Plan for Europe (STAP). ESTIF Website: www.estif.org/281.0.html

H.Schweiger et al. (2001), POSHIP (Project No. NNE5-1999-0308):, *The Potential of Solar Heat for Industrial Processes*, Final Report. Website:Available for download at www.aiguasol.comenergyxperts.net/docs/poshipPOSHIP_FinalReport.ziphtm

W. Weiss, M. Rommel (eds., 2007): *Process heat collectors*. State of the art within Task 33/IV, Editors: W. Weiss, M. Rommel, Published by AEE INTEC with financial support of the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology, Gleisdorf (Austria) 2007. Website: www.iea-shc.org/task33/index.html

3.7.4.6 Biomasse und Biogas

Biomasse und Biogas sind Ressourcen mit dem Potential, große Teile von industriellen Prozessen mit erneuerbarer Energie versorgen zu können. In industriell genutzten Biomassefeuerungen werden zumeist Hackschnitzel oder Pellets eingesetzt. Auch Stroh kann verfeuert werden, wofür man jedoch technisch ausgereifte Feuerungen und Regelungen benötigt. Auch andere biogene Abfälle aus dem Produktionsprozess können verwendet werden, wobei es aber stark davon abhängt, welcher Heizwert damit erzielt werden kann (abhängig vom Brennwert sowie dem Brennstoffwassergehalt und eventuell eingesetzte Brennstofftrocknungen).

Biomasseverbrennungen für Warm- und Heißwasseranwendungen sind Stand der Technik und umfassen mittlerweile auch den Einsatz von Biomasse in Dampfkesselanlagen.

Die Vergärung von biogenem Abfall zu Biogas eröffnet neue Einsatzmöglichkeiten. Der Wirkungsgrad hängt hier vom Umwandlungsverfahren ab, vom Methanertrag in der Gasphase und davon, ob das Biogas gereinigt werden muss (besonders bedeutend bei der Anwendung für Motoren). Biogas kann außer für die Wärmeerzeugung für verschiedenen Technologien wie rein mit Gas oder kombiniert Gas und Feststoff befeuerte KWKs, Gasturbinen und Brennstoffzellen genutzt werden.

Details über Biogas

Biogas ist eine Mischung aus Methan, CO_2, H_2S, Wasser und anderen Spurengasen, die unter anaeroben Bedingungen und mit der Hilfe von Mikroorganismen aus organischem Material erzeugt wird. Der Herstellungsprozess von Biogas ist komplex und erfolgt in mehreren Vergärungsschritten. Die Qualität des Produkts hängt vom Ausgangsmaterial, dem eingesetzten Mikroorganismus, den Verfahrensparametern (insbesondere Temperaturen, pH-Wert,...) und der Aufbereitung des erzeugten Rohbiogases ab.

In neueren Biogasanlagen ist die Kombination von verschiedenen Ausgangsmaterialien Stand der Technik (Ko-Vergärung). Darunter versteht man die Vergärung von organischen Düngern wie Gülle mit anderen biogenen Roh- und Abfallmaterialien. Bei der industriellen Anwendung hat der Einsatz von zusätzlichem Material ein großes Potential für die Vor-Ort-Herstellung von Biogas, was die Unabhängigkeit von der externen Energieversorgung erhöht. In Tabelle 15 finden Sie verschiedene Ausgangsmaterialien unterschiedlichen Ursprungs.

Tabelle 15: Ausgangsmaterial unterschiedlichen Ursprungs für Biogas

Agriculture industry	Slaughter houses	Industry (e.g. food)	Canteen kitchen	commune
•Residues of harvesting •Energy plants •Liquid manure •Solid and liquid dong	•Slaughter house waste water (grease,..) •Slaughter house solid waste (bowels)	•mash •Brewer grains •yeast •Fruit pulp	•Food residues •Kitchen waste •Waste grease	•grass •Biogenic waste •Sewage sludge

Tabelle 16: Vorbehandlungstechnologien für Biogas

Pre-treatment	examples
Mechanical/physical	Milling, chaffing, ultra sonic
chemical	Acids, base, wet oxidation
Bio-technological	Enzymes, fungi,
Thermal	Steam explosion, thermal pressure hydrolysis

Tabelle 17:Zusammensetzung von Biogas aus verschiedenen Ausgangsmaterialien

components	Wood gas		Sewage gas	landfill gas	biogas	Biogas av.
	air	steam				
CH_4	3 – 6 %	9 – 11 %	60 – 75 %	45 – 55 %	50 – 75 %	**55 %**
CO_2	*12 – 16 %*	20 – 25 %	30 – 40 %	30 – 40 %	25 – 45 %	**43,9 %**
H_2S			< 1 %	50 – 300 ppm	0 – 1 %	**0,05 %**
H_2O			saturated	saturated	saturated	saturated
H_2	11 – 16 %	33 – 40 %	traces		0 – 1 %	**0,5 %**
O_2			< 1 %		0 – 1 %	**0,1 %**
N_2	45 – 60 %	< 3 %	< 4 %	5 – 15 %	0 – 3 %	**0,4 %**
NH_3					0 – 0,5 %	**0,05 %**
CO	13 – 18 %	25 – 30 %	traces		-	-
Heating value **[kWh/m³]**	**1,1 – 1,7**	**3,3 – 4,2**	**6 – 7,5**	**4,5 – 5,5**	**5 – 7,5**	**5,5**

* Vol% on dry gas

Die Anwendung verschiedener Verfahrenstechnologien wie z.B. eines ein- oder zweistufigen Vergärungsprozesses, mesophiler oder thermophiler Bedingungen oder einer Nass- oder Trockenvergärung beeinflusst die Qualität und die Quantität des Produkts. Eine Vorbehandlung des Ausgangsmaterials – vor allem bei zellulosehaltigem und hemi-zellulosischem Material hat einen positiven Effekt auf den Biogasertrag. Vorbehandlungstechnologien auf dem Stand der Technik finden Sie in Tabelle 17.

Oft ist eine Aufbereitung des Rohbiogases nötig. Dies hängt jedoch vom späteren Anwendungsbereich des Biogases ab. Vor allem die Abtrennung von CO_2, H_2S und H_2O erhöht den Heizwert und erweitert den möglichen Anwendungsbereich. Erdgas hat einen durchschnittlichen Heizwert von ca. 10 kWh/m³; Biogas von ca. 6 kWh/m³,. Das bedeutet, dass für die Produktion derselben Energiemenge (bei angenommenem gleichen Wirkungsgrad der Anlagen) 1,7 mal mehr Biogas als Erdgas notwendig ist.

Referenzen:

Ross, Charles C.; T. J. Drake (1996): Handbook of Biogas Utilization Vol. III, Second Edition. III, Ross, Charles C.; T. J. Drake; Environmental Treatment Systems, Inc. July 1996

3.7.4.7 Energieeffiziente Heizkessel und Brenner

Um die Gesamtleistung eines bestehenden Heizkessels bei Betriebsbesichtigungen zum Energie-Audit zu bewerten, sollte man folgendes prüfen: das Installationsjahr; die technischen Daten (Nennleistung, Hersteller); den Isolationszustand; mögliche Undichtheiten; die Steuerung des Heizkessels, Betriebsbereitschaftszeiten und Abgaswerte.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, den Energieverbrauch eines neuen oder bestehenden Wärmeerzeugungssystems (z.B. Heizkessel, Dampfkessel, Brennwertkessel usw.) zu verringern. Vor allem sollten folgende in Betracht gezogen werden:

- Der Einsatz von Strom für das Beheizen von Prozessen ist sehr ineffizient. Die Umwandlungseffizienz von Primärenergie in Strom für die Prozesse (inkl. Verteilungsverluste) liegt bei 30%. Im Vergleich dazu beträgt diese bei hocheffizienten Gasheizkesseln oder -brennern bis zu über 90%.

- Warmwasserkessel haben eine höhere Umwandlungseffizienz als Dampfkessel. Für niedrige Temperaturen können sogar Brennwertkessel eingesetzt werden. Thermische Verluste bei der Verteilung werden so ebenfalls verringert. Außerdem ermöglicht ein Warmwasserkreislauf den Einsatz von anderen energieeffizienten Technologien wie KWK, Wärmepumpen und Solarthermie.

- Ein niedrigeres Dampfdruck- (und Temperatur-) Niveau führt zu einem Rückgang der thermischen Verluste und der Kosten.

- Der Einsatz von Erdgas oder Flüssiggas (LPG) ermöglicht die Nutzung von energieeffizienten Technologien wie Brennwertkesseln, Direktverbrennung usw.

- Der Wirkungsgrad eines Heizkessels nimmt rasch ab, wenn er mit einer Last unter 30% läuft. Es kann daher sinnvoll sein, zwei oder mehrere Heizkessel in einer Kaskade für die gesamte Wärmeversorgung zu installieren. Die Überdimensionierung von Heizkesseln sollte vermieden werden. Hocheffiziente Kessel sollten die Grundlast decken, während die weniger effizienten für die Spitzenlast zuständig sein sollten.

- Auch die Optimierung der Regulierung kann den Wirkungsgrad erhöhen.

- Wenn Heizkessel oder Hochöfen regelmäßig aufgrund einer Lastveränderung heruntergefahren werden, kann man die Wärmeverluste aufgrund der Kaminwirkung, bei der kalte Luft durch den Kessel bläst, durch den Einsatz von Klappen bedeutend verringern.

- Besonders großen Einfluss auf den Wirkungsgrad haben die Abgasverluste und die Abstrahlung des Mantels. Das Senken der Abgastemperatur und die Isolierung des Heizkessels erhöhen den Wirkungsgrad immer. Die Anpassung der Luftüberschusszahl trägt ebenso dazu bei, die Abgasverluste zu verringern und somit den Wirkungsgrad des Kessels zu erhöhen.

- Die Rückleitung des Kondensats in den Dampfkessel ermöglicht die Rückgewinnung der darin enthaltenen Energie (bis zu 15% der für die Dampferzeugung benötigten Energie).

- Um die über den Nachdampf abgegebene Verlustwärme zu minimieren, sollte der Abschlamm-Strom verringert werden (durch die Vorbehandlung des Speisewassers) und die Wärme beim Abschlammen zurückgewonnen werden. Die Vorbehandlung des frischen Speisewassers verringert außerdem Kalkablagerungen und trägt so zu Beibehaltung eines guten Wärmeaustausches zwischen dem Heizgas und des zu erwärmenden Stroms bei.

- Der Einsatz eines Vorwärmers (ein zusätzlicher Wärmetauscher für das Vorwärmen des Kesselwassers durch Abwärmerückgewinnung aus den Abgasen) und/oder ein Lufterhitzer (Rekuperator) erhöht den Gesamtwirkungsgrad durch die Nutzung der Abwärme aus den Abgasen.

Referenzen:

The Energy Research Institute Department of Mechanical Engineering University of Cape Town. H*ow to save money and energy in boiler and furnaces systems.* Website: http://www.3e.uct.ac.za

Lawrence Berkeley National Laboratory Washington, DC for DOE, Improving Steam system Performance a sourcebook for industry. April 2004. Website: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/steamsourcebook.pdf.

Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. Juli 2006. Website: http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

Ralph L. Vandagriff. Practical guide to industrial Boiler systems. 2001. Marcel Dekker, Inc. Website: www.dekker.com

V. Ganapathy ABCO Industries. Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators Design, Applications, and Calculations. 2003 Marcel Dekker, Inc.Website: www.dekker.com

3.7.4.8 Energieeffiziente Kälteerzeugung

Industrielle Kältemaschinen werden zur Kühlung von Produkten und Produktionsmaschinen oder für die Klimatisierung von Produktionsbereichen eingesetzt. Entsprechend dem Kältekreislaufprinzip der Anlage entscheidet man zwei Typen von Kältemaschinen:

- *Kompressionskältemaschinen* nutzen mechanische Energie und werden entweder von Elektromotoren (am häufigsten verwendet) oder Dampf- oder Gasturbinen betrieben. In Kompressionskältemaschinen kommen verschiedene Kompressoren zum Einsatz: Kobenkompressoren, Scrollverdichter, Schraubenverdichter oder Turboverdichter. Der EER-Wert von großen Kompressionskältemaschinen liegt üblicherweise bei 4,0 oder höher.

- *Sorptionskältemaschinen* werden mit thermischer Energie in Form von Dampf, Heißwasser oder Abgas aus Verbrennungsprozessen betrieben. Am häufigsten werden *Absorptionskältemaschinen* eingesetzt. Der EER-Wert von Absorptionskältemaschinen liegt im Bereich zwischen 0,5-0,8 (einstufige Geräte) und 1,0-1,3 (zweistufige)[13].

Die Kältemaschinen geben die vom gekühlten Medium absorbierte Energie an die Umgebung ab. Die Energie kann an die Luft (luftgekühlt) oder an Wasser (wassergekühlt) abgegeben werden. Bei wassergekühlten Kältemaschinen kommen normalerweise Nasskühltürme zum Einsatz, was ihre thermodynamische Effektivität im Vergleich zu luftgekühlten Geräten erhöht, weil das Temperaturniveau der Wärmerückgabe (Kondensationstemperatur) verringert ist. Dadurch entstehen für das System jedoch auch Zusatzkosten, und es wird zusätzlich Wasser verbraucht.

Folgende Punkte sollten bei der Anwendung und Planung von Kälteanlagen beachtet werden:

- *Temperatur der Kältezufuhr*.
  Die Umwandlungseffizienz der Kälteerzeugung hängt in großem Maße von der Verdampfungstemperatur ab. Bei einer höheren Verdampfungstemperatur ist auch die Energieeffizienz größer. In vielen Fällen versorgt eine Kältemaschine mehrere Prozesse mit Kälte. Wenn es Prozesse mit unterschiedlichen Temperaturniveaus gibt, sollten diese der Temperatur nach eingeteilt werden, und jede Gruppe auf dem höchstmöglichen Temperaturniveau mit Kälte versorgt werden. Eine höhere Kaltwassertemperatur kann auch die Anwendung von free-cooling verstärkt ermöglichen (siehe unten).

- *Temperaturunterschiede zwischen Verdampfung und Kondensation.*
  Bei geringeren Temperaturunterschieden zwischen Vorlauf (eigentlich der Verdampfungstemperatur) und Rücklauf (Kondensationstemperatur) steigt der EER. Die richtige Planung des Kühlturms und der Rückkühlung kann den Wirkungsgrad erhöhen. Wenn Kühler Wärme in die Umgebung abgeben, muss die Kondensationstemperatur oder die Kühlwassertemperatur nicht konstant bleiben. Im Gegenteil kann die Wassertemperatur unter Berücksichtigung der Außentemperatur angepasst werden, um die Differenz zwischen Verdampfung und Kondensation zu verringern.

- *Verringerter Betrieb in Teillast – Verwendung von Geräte-Kaskaden.*
  Die meisten Kühler haben bei Teillast eine geringere Effizienz. Wenn die Kühllasten sehr variabel sind, z.B. bei der Klimatisierung eines Gebäudes, kann es sinnvoll sein, einen oder mehrere Kühler auf Nennleistung laufen zu lassen, um die Grundlast abzudecken. Ein weiterer Kühler (am besten ein Turbo-Kompressor, der für Teillasten noch besser geeignet ist) übernimmt die Spitzenlasten. Teillast-Operationen können auch reduziert oder die Stundenanzahl erhöht werden, indem Kältespeicher verwendet werden (Beseitigung von Verbrauchsspitzen)

- *Verfügbarkeit von Niedrigtemperaturwärme zwischen 80 und 90 °C.*
  Wärme in dieser Temperaturspanne könnte aus der Abwärmerückgewinnung von KWK-Anlagen (z.B. Motoren) oder aus einem Solarthermie-System zugeführt werden. In diesem Fall sollte die Anwendung von thermisch betriebenen Kältemaschinen überlegt werden (vor allem bei großdimensionierten Anwendungen mit einer hohen Auslastung).

[13] Sie müssen berücksichtigen, dass Absorptionskältemaschinen thermische Energie statt elektrischer oder mechanischer Energie wie bei mechanischen Kompressionskältemaschinen verwenden. Daher können die Leistungskoeffizienten nicht direkt verglichen werden.

- *Möglicher Einsatz von Free Cooling.*
  Kältemaschinen sollten nur zum Einsatz kommen, wenn die notwendigen Kühltemperaturen nicht durch das direkte Abgeben der Wärme an die Umgebung erreicht werden kann. In vielen Klimazonen könnte die Umgebungstemperatur über beachtliche Zeiträume (nachts und/oder im Winter) niedriger sein als die benötigte Kühltemperatur. Es gibt bereits unterschiedliche Arten von Kältemaschinen, die Free Cooling bei niedrigen Außentemperaturen ermöglichen, indem sie einen direkten Kreislauf zwischen dem zu kühlenden Medium und der Außenluft herstellen. Der Einsatz solcher Geräte könnte zu beachtlichen Energieeinsparungen führen. Free Cooling-Anwendungen sind ideal für Prozesse mit relativ konstanten Lasten in Klimazonen mit niedrigen Temperaturen im Winter oder bei Nacht.

- *Verwendung von umweltfreundlichen und natürlichen Kühlmitteln.*
  Wenn man sich für Kompressionsanlagen entscheidet, sollte man die Umweltaspekte betreffend der Kühlmittel berücksichtigen und die internationalen Abkommen in diesem Bereich im Auge haben. Vorzugsweise sollten Kühlmittel ohne ODP (Ozonabbaupotential) und mit geringem GWP (Treibhauspotential) und natürliche Kühlmittel wie Ammoniak oder Kohlendioxid verwendet werden, die auch hervorragende thermophysikalische Eigenschaften aufweisen und eine hohe Betriebsleistung sicherstellen.

- *Verwendung der Abwärme aus Kältemaschinen.*
  Die Abwärme vom Kondensator der Kältemaschine und in bestimmten Fällen von der Kühlung des Kompressors, die normalerweise in die Kühltürme abgeleitet wird, kann stattdessen für das (Vor)wärmen von Strömen auf eine niedrige Temperatur eingesetzt werden (bis zu ca. 50 °C). Die Kältemaschine fungiert als *Wärmepumpe*. Temperaturhübe von bis zu 40 K zwischen der Kaltwassertemperatur und der Kondensatortemperatur sind möglich. Das Temperaturniveau der abgegebenen Wärme kann durch die Verwendung einer zusätzlichen Wärmepumpe erhöht werden.

Referenzen:

EU BREF Reference Document on the application of Best Available.Techniques to Industrial Cooling Systems. Dezember 2001. Europäische Kommission.

ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment. ASHRAE, 2008.

EINSTEIN Schritt 7: Erstellung eines Konzept der Einsparungsmöglichkeiten und erste Definition der Energieziele

> Checkliste mit Empfehlungen für Energiesparpotentiale

> Prozessoptimierung und bedarfsorientierte Möglichkeiten

> Analyse des theoretischen Wärmerückgewinnungs-potentials

> Entwurf des Wärmetauscher- und Speichernetzwerks

> Entwurf von alternativen Versorgungssystemen

3.8 Berechnung der Energieleistung und Umweltanalyse

Um den Energieverbrauch eines vorgeschlagenen Wärme- und Kälteversorgungssystems zu ermitteln, muss eine Modellrechnung (Simulation) durchgeführt werden. Dafür stellt die EINSTEIN Software ein Systemsimulations-Modul für alle Technologien zur Verfügung.

3.8.1 EINSTEIN Systemsimulations-Modul

Die interne Berechnung der Energieleistung bei EINSTEIN beruht auf dem *gesamten* Wärme(Kälte)bedarf der verschiedenen Leitungen oder Kanälen im System und der potentiellen Leistung der Wärme(Kälte) liefernden Versorgungsanlage, die von der Wärme- Kälte-Kaskade zugeschalten werden. Der Wärmebedarf für jedes Gerät ist je nach Eigenschaften des Prozesses und dessen Zeitplan temperatur- und zeitabhängig: $\dot{Q}_D = \dot{Q}_D(T,t)$.

Die potentielle Leistung P_{nom} der verschiedenen Anlagen zur Wärmeversorgung ist allgemein von den Zufuhrtemperaturniveaus und – im speziellen Fall von Wärmepumpen – auch von der Verfügbarkeit von Abwärme abhängig $\dot{Q}_A = \dot{Q}_A(T,t)$

Der Nutzwärmeeintrag jedes Geräts in einer bestimmten Position *j* in der Wärmeversorgungskaskade kann dann mittels Wärmebedarf und Nennleistung errechnet werden:

$$\dot{Q}_{USH,j}(T,t) = min\left[P_{nom}(T), \dot{Q}_{D,j}(T,t)\right] \quad (3.4)$$

$$\dot{Q}_{D,j} = \dot{Q}_{D,j}(T,t) = \sum_{connected\ pipes} \dot{Q}^{res}_{D,m}(T,t) \quad (3.5)$$

$\dot{Q}^{res}_{D,m}(T,t)$

der verbleibende Wärme- oder Kältebedarf bei Rohreitung oder Kanal *m*, nachdem dieser Teil des Wärme- und Kältebedarfs bereits von den Geräten 1 .. j-1, die in der Wärmeversorgungskaskade vorgereiht sind, gedeckt wurde.

Die Berechnungen mit dem EINSTEIN Systemsimulation-Tool werden standardmäßig in 1-Stunden-Schritten für das ganze Jahr durchgeführt, wobei die Bedarfsschwankungen hinsichtlich Zeit und Temperatur über den Tag, die Jahreszeit, während der Wochenenden und Urlaubszeiten berücksichtigt werden.

Die größte Einschränkung dieses internen Berechnungstools ist der verwendete „*Heizungs- und Kälteversorgungs-Kaskade*"-(oder Gesamtbedarfs-) Ansatz: die Einzelheiten und Besonderheiten der Regelungsstrategie werden in den Energieberechnungen nicht berücksichtigt[14] und können nur mit Hilfe einer geeigneten Reihung der Geräte in der Kaskade angenähert werden.

Für eine detaillierte und präzisere Berechnung kann eine externe Systemsimulationssoftware eingesetzt werden.

3.8.2 Systemsimulation mit spezieller externer Software

Wenn das EINSTEIN Systemsimulations-Modul nicht genau genug ist muss eine externe Systemsimulationssoftware eingesetzt werden. Die Ergebnisse der externen Simulationen können in die EINSTEIN Software eingegeben und für weitere Berechnungen genutzt werden. Hinweise auf derzeit erhältliche Simulationstools finden Sie im EINSTEIN Bericht: Review of Thermal Energy Auditing Practices and Tools [Vannoni et al., 2008].

[14] Die thermischen Verluste werden in den Berechnungen annäherungsweise berücksichtigt, indem eine gesamte Durchschnittsverteilungseffizienz mit einberechnet wird.

3.8.3 Umweltanalyse

Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, werden bei EINSTEIN folgende Parameter als Hauptindikatoren für die Analyse der Auswirkungen auf die Umwelt herangezogen:

- *Verbrauch von Primärenergie* als Hauptindikator für die Analyse der Auswirkungen auf die Umwelt
- *CO_2-Ausstoß*
- *Anfallen von hochradioaktivem (HR) Atommüll* (aufgrund des Stromverbrauchs)
- *Wasserverbrauch*

Die Parameter über die Umweltauswirkungen können direkt von der Zusammensetzung des Endenergieverbrauchs im Unternehmen abgeleitet werden, der aus der zuvor beschriebenen Analyse der Energieleistung hervorgeht.

Die benötigten Umwandlungsparameter können von den BenutzerInnen in der EINSTEIN Datenbank für anzuwendende Brennstoffe und den repräsentativen Strommix konfiguriert werden.

Allgemein kann gesagt werden, dass üblicherweise der *Primärenergieverbrauch* der als Hauptindikator bevorzugte Parameter ist. Das sollte vermieden werden, da er einen (etwas gewichteten) Durchschnitt der verschiedenen Emissionsarten darstellt.

Der Parameter CO_2-Ausstoß, der oft als Umweltindikator herangezogen wird, lässt andere Emissionsarten wie radioaktiven Abfall außer Acht. Dadurch werden die (normalerweise negativen) Umweltauswirkungen eines Wechsels von Brennstoffen zu Strom – vor allem in Ländern mit einem hohen Anteil von Atomenergie in der Stromerzeugung – unterschätzt.

Referenzen Kapitel 3.8.2

C.Vannoni et al. (2008): EINSTEIN Report: Review of Thermal Energy Auditing Practices and Tools. IEE Project EINSTEIN, Project deliverable D2.2. Available for download on www.einstein-energy.net

EINSTEIN Schritt 8: Energieleistungsberechnung und Umweltanalyse

> Schnellberechnung

> Systemsimulation mit spezifischer externer Software

> Energie- und Umweltanalyse

3.9 Wirtschaftlichkeits- und Finanzanalyse

Für das Unternehmen selbst ist die Wirtschaftlichkeitsanalyse der vorgeschlagenen Energieversorgung eine der bedeutendsten Punkte. Daher muss man diesen Schritt klar herausarbeiten. Je detailliertere Daten für diese Analyse beschafft werden können, desto verlässlicher sind die Ergebnisse.

Für eine Wirtschaftlichkeitsanalyse eines neuen Energieversorgungssystems müssen die Betriebs-(Energie-)Kosten mit jenen der derzeitigen Anlagen verglichen werden. Eine sinnvolle Methode ist es, alle zukünftig anfallenden Kosten des bestehenden Wärme- und Kälteversorgungssystems zu errechnen und diese mit den voraussichtlichen Investitionen und anderen Kosten des vorgeschlagenen alternativen Energieversorgungssystems zu vergleichen. Die Kostendifferenz ergibt den erwarteten Cashflow, der sich aus dem Wechsel der Versorgungsgeräte ergibt.

Im Allgemeinen müssen die folgenden Kostenkategorien berücksichtigt werden:

- Investitionskosten:

  - Angebote von einschlägigen Unternehmen oder Einsatz von gebrauchten Geräten
  - Subventionen und Förderungen
  - Erlöse aus dem Verkauf der alten Geräte

- Betriebskosten:

  - Energiekosten inkl. erwarteten Energiepreisanstieg
  - Erhaltung, Personalkosten, Versicherung, Betriebsmittel usw.

- Eventualposten

  - wenn das bestehende Versorgungssystem nicht verändert wird: steuerliche Nachteile, Kosten für Sanierungsmaßnahmen, Kosten für die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften, negative Auswirkungen auf den Marktanteil, Auswirkungen durch den CO_2-Emissionshandel usw.
  - wenn das Energieversorgungssystem verändert wird: steuerliche Vorteile, positive Auswirkungen auf den Marktanteil, Verbesserung des Unternehmensimages

- Einmalkosten

  - Gerätereparaturen, Austausch der Kollektoren, außerordentliche Erhaltungsarbeiten, Genehmigungen, juristische Kosten, Fehlerverhütungskosten usw.

Bei konventionellen Kostenabschätzungen konzentriert man sich auf die Investitions- und Betriebskosten. Um die tatsächlichen Gesamtkosten zu berechnen, müssen jedoch auch die Eventualposten und Einmalkosten berücksichtigt werden, die eine bedeutende Auswirkung auf das Endergebnis haben können. Mit der Kostenanalyse sollten alle Parameter, die die Wirtschaftlichkeit der der Energieeffizienzmaßnahmen und die Installation eines Energieversorgungssystems für industrielle Prozesse neben den Energiekosten beeinflussen, erfasst werden können.

Für eine Gesamtkostenanalyse (TCA), die längerfristig angelegt ist und auch makroökonomische Parameter berücksichtigt, müssen auch Eventualposten und Einmalkosten beachtet werden.

Es ist offensichtlich, dass die folgenden Parameter für das Ergebnis der Kostenabschätzung entscheidend sind:

- Nominalzinssatz der externen Finanzierung
- Unternehmensspezifischer Diskontsatz
- erwartete Entwicklung der Energiepreise
- Inflationsrate
- für die Wirtschaftlichkeitsanalyse gewählter Zeitrahmen

Das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsanalyse beinhaltet die Investition, die Amortisationszeit und das Kosten-Nutzen-Verhältnis. Es sollte jedoch auch die Wirtschaftsparameter, die die Wirtschaftleistung über einen längeren Zeitraum zeigen, ausweisen. Dabei sind der interne Zinsfuß und die Entwicklung des Netto-Zeitwertes über die Jahre von großer Bedeutung. (Details über die Berechnungsweise finden Sie in Abschnitt 2.6.)

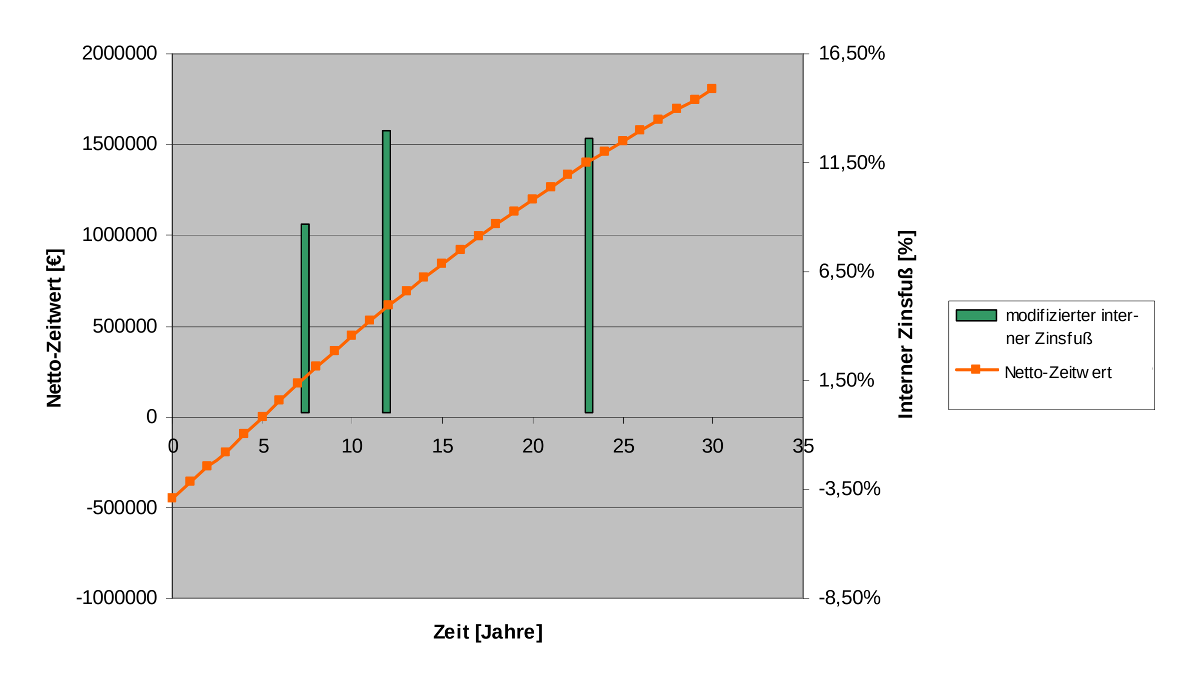


Abbildung 34: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsanalyse

EINSTEIN Schritt 9: Wirtschaftlichkeits- und Finanzanalyse

> wichtigste Wirtschaftsparameter berechnen

> Möglichkeiten der Förderung und Finanzierung analysieren

> ein passendes Finanzierungsschema erarbeiten

3.10 Bericht und Präsentation

3.10.1 Inhalt des Berichts

Sobald das Audit abgeschlossen ist, muss ein *Audit-Bericht* erstellt werden, der das Hauptdokument des gesamten Verfahrens darstellt.

Der Audit-Bericht sollte folgende (Mindest-) Informationen beinhalten:

- Eine *Zusammenfassung* der wichtigsten Ergebnisse des Audits
- Die während des Audits gesammelten und/oder geschätzten Daten, die die Grundlage für die Analyse gebildet haben. Alle *Schätzungen* und *Hypothesen* der AuditorInnen, die nicht von erfassten Daten gestützt werden, sollten klar gekennzeichnet werden.
- Die Aufgliederung des in Kapitel 3.6.3 beschriebenen derzeitigen Energieverbrauchs und der Vergleich mit Benchmark-Referenzdaten.
- Eine Beschreibung der verschiedenen untersuchten Alternativvorschläge, die die notwendigen Veränderungen des bestehenden Systems hervorhebt, sowie der verschiedenen Hauptmerkmale jedes Alternativvorschlags. Jeder Alternativvorschlag sollte mit einem kurzen, aber selbsterklärenden Akronym versehen werden, das in den Vergleichstabellen und Grafiken verwendet werden kann.

  Zur Beschreibung der Alternativvorschläge sollte es idealerweise schematische Abbildungen (Blockdiagramme und/oder hydraulische Pläne) geben, die die Position der neuen Geräte im bestehenden System klar ausweisen.
- Vergleichstabellen und -zahlen mit den wichtigsten Ergebnissen (bzgl. Energie, Umwelt, Wirtschaftlichkeit) der untersuchten Alternativen.
- Präsentation einer detaillierten Finanzanalyse der letztendlich vorgeschlagenen Lösung (oder Lösungen: in machen Fälle könnte es sinnvoll sein, mehr als nur eine „beste" Alternative anzubieten und die Endentscheidung dem Unternehmen zu überlassen). Hier sollten Sie auch die Möglichkeit der Drittfinanzierung von notwendigen Investitionen, mögliche Förderquellen und andere Anreize ansprechen.
- Klare Angaben zu und Identifikation der unumgänglichen Unsicherheiten, die nach einem Schnell-Audit immer noch bestehen, vor allem wenn diese kritische Auswirkungen auf die Machbarkeit des vorgeschlagenen Systems haben könnten. Unterstreichen Sie die Aspekte, die noch eingehender untersucht werden sollten, bevor eine Entscheidung über Veränderungen im System getroffen wird.

Die EINSTEIN Software erstellt automatisch einen Standard-Audit-Bericht mit all diesen Informationen. Dieser Bericht ist eine Tabellenkalkulation (OpenOffice), die bearbeitet und verändert werden kann, indem Sie manuell Zusatzinformationen eingeben usw.

3.10.2 Präsentation im Unternehmen

Sie sollten den Bericht im Unternehmen wenn möglich immer persönlich vorstellen, da Sie so die Möglichkeit haben, Ihre Vorschläge zu erklären, Missverständnisse zu vermeiden und den EntscheidungsträgerInnen im Unternehmen die Vorteile Ihres Vorschlags näher zu bringen.

In jedem Fall sollte der EINSTEIN Audit-Bericht jedoch klar genug sein, um auch per Post oder E-Mail versandt zu werden, wenn eine persönliche Präsentation nicht möglich sein sollte (z.B. weite Entfernung zum Unternehmen und das niedrige Budget lässt keinen zweiten Besuch zu,...)

EINSTEIN Schritt 10: Bericht und Präsentation im Unternehmen

> Erstellung eines kurzen und klaren Audit-Berichts

>Präsentation im Unternehmen

3.11 Kollektives Lernen

3.11.1 Teilen Sie Ihre Erfahrungen mit dem Beraternetzwerk

Jede durchgeführte Fallstudie ist eine neue Erfahrung mit ihren eigenen Besonderheiten, die in den Erfahrungsschatz einfließen sollte, der Ihnen oder anderen AuditorInnen für zukünftige Audits zugänglich ist. Dieser kollektive Lernprozess kann auf verschiedene Arten und auf verschiedenen Ebenen erfolgen:

- Geben Sie die Information in Ihrem Unternehmen, Ihrer Einrichtung oder Ihrem Netzwerk weiter. Die in die EINSTEIN Datenbank aufgenommene Information kann bei zukünftigen Audits z.B. als zusätzliches Benchmark für ähnliche Industriesektoren, als Ideenquelle für Maßnahmen, die vorgeschlagen werden könnten, usw. abgerufen werden.

- Teilen Sie diese Informationen mit dem Netzwerk der EINSTEIN BenutzerInnen. In den zukünftigen Aktualisierungen des EINSTEIN Toolkit werden neue von den BenutzerInnen abgewickelte Projekte aufgenommen. Fragen der Vertraulichkeit können durch die Anonymisierung der Daten berücksichtigt werden (Das EINSTEIN Tool stellt dafür verschiedene Optionen / Vertraulichkeitsebenen zur Verfügung, die bestimmte Daten automatisch aus den Projekten entfernen). Die Projekte können direkt von der Software aus über die EINSTEIN Webseite www. einstein.energy.net hochgeladen werden oder per E-Mail an die EINSTEIN EntwicklerInnen gesendet werden: info@energyxperts.net.

- BenutzerInnen helfen anderen BenutzerInnen: Es gibt ein E-Mail-Forum für EINSTEIN BenutzerInnen, wo Sie Meinungen austauschen und Hilfestellung bekommen oder anderen geben können. Melden Sie sich einfach auf der EINSTEIN Webseite an: https://lists.sourceforge.net/lists/listinfo/einstein-users

3.11.2 Helfen Sie, die Methodik und die Software zu verbessern

EINSTEIN ist beinahe perfekt, aber eben nicht völlig. Etwas kann immer verbessert werden: neue Technologien oder Daten, die entwickelt wurden; Punkte, die nicht berücksichtigt wurden; Ausnahmefälle, die mit den EINSTEIN Standardschemata nicht gut dargestellt werden können usw.

Verwenden Sie die EINSTEIN Webseite (einstein.sourceforge.net), um über Softwarefehler zu berichten, Verbesserungsvorschläge zu machen usw.

3.11.3 Werden Sie EINSTEIN EntwicklerIn

Das EINSTEIN Tool wird als kostenfreies Open Source Software-Projekt weiterentwickelt. Sie können den Quelltext herunterladen und abändern und Ihre eigenen Module entwickeln und beisteuern.

Nach einer Qualitäts- und Kompatibilitätsprüfung durch das EINSTEIN Team werden diese Module in die nächste EINSTEIN Version aufgenommen.

Wie? Schicken Sie einfach eine Anfrage, EINSTEIN EntwicklerIn zu werden über eine der oben genannten Kontaktmöglichkeiten an das EINSTEIN Team.

3.12 Follow-Up

3.12.1 Vom Audit zur Installation des neuen Systems

Genauso wichtig wie das Audit selbst ist auch das Follow-Up. Das Hauptziel ist natürlich, das Unternehmen zu überzeugen, die vorgeschlagene Investition zu tätigen und das neue energieeffiziente System zu installieren.

Sie können jedoch auch von negativen Reaktionen lernen und Erfahrung sammeln: Versuchen Sie, herauszufinden, warum ein Vorschlag, den Sie für energetisch und wirtschaftlich machbar hielten, nicht umgesetzt wurde. Auch wenn in jedem Fall die Entscheidung nicht mehr rückgängig gemacht werden kann, können Sie dieses Wissen zumindest in die Art, wie Sie Ihre nächste Studie vorstellen, einfließen lassen.

3.12.2 Prognostizierte und tatsächliche Leistung des neuen Systems

Wenn alles gut läuft und Sie gute Arbeit geleistet haben, wird das Unternehmen schlussendlich sein Wärme- und Kälteversorgungssystem verbessern und (mehr oder weniger) das neue, von Ihnen vorgeschlagene System installieren. Sie können sich also zurücklehnen, entspannen, Ihren Erfolg genießen und sich nach einer gewissen Zeit…dem nächsten Audit widmen.

Idealerweise sollten Sie jedoch das Projekt im Auge behalten und diese praktische Erfahrung wenigstens noch einige Jahre nach der Inbetriebnahme des neuen Systems nutzen (Manche Probleme von bestimmten Technologien zeigen sich eventuell erst nach einer gewissen Zeit). Am besten gehen Sie das Follow-Up systematisch an:

- Versuchen Sie am besten einen Wartungsvertrag abzuschließen. So können Sie die Anlage in den ersten Betriebsjahren direkt begutachten.
- Rufen Sie das Unternehmen in regelmäßigen Abständen an und erkundigen Sie sich nach ihren Erfahrungen.
- Wenn Sie zusätzlich noch Messdaten beschaffen können, wäre das noch besser. Vergleichen Sie diese Daten über die tatsächliche Leistung mit Ihren Prognosen.
- Dokumentieren Sie die erfolgten Kontaktaufnahmen, die Problemberichte, Ihre Ansicht, wie diese Probleme vermieden hätten werden können, usw.

4 Beispiele

4.1 Allgemeines Verfahren

Ausgangspunkt:

Nach einer Präsentation über Maßnahmen zur Energieeffizienz in der Industrie, sprechen Sie kurz mit der technischen Leiterin des Unternehmens EINSTEIN Containerwasch-GesmbH, Fr. Sauber. Sie erklärt Ihnen, dass sie sehr an Energieeinsparungen und dem Einsatz erneuerbarer Energieträger interessiert sei, da die Energiekosten seit dem Anstieg der Energiepreise einen großen Kostenfaktor für das Unternehmen darstellen. Sie tauschen Visitenkarten aus und versprechen, sich weitere Informationen zukommen zu lassen.

4.1.1 EINSTEIN Schritt 1: Motivieren

Wenn Sie wieder in Ihrem Büro sind, schreiben Sie Fr. Sauber eine kurze E-Mail mit dem EINSTEIN Informationsmaterial im Anhang.

Nach einigen Tagen ruft sie Sie an und erklärt, dass sie sehr an einem EINSTEIN Energie-Audit interessiert wäre. Sie schlägt vor, dass Sie das Unternehmen besuchen, das leider in Eisenbahn-Stadt ca. 150 km von Ihrem Büro entfernt liegt. Sie bitten sie, Ihnen vorab einige Daten und Pläne des Betriebs zu schicken, damit Sie vor dem Besuch einen Entwurf ausarbeiten können.

4.1.2 EINSTEIN Schritt 2: Datenbeschaffung vor dem Audit

Sie senden Frau Sauber die „EINSTEIN Checkliste für Unternehmen“, damit Sie ungefähr weiß, welche Informationen Sie bei der Besichtigung einholen möchten. Zusätzlich zur Checkliste schicken Sie ihr auch den EINSTEIN Basisfragebogen und bitten Sie, jene Fragen, die einfach geklärt werden können, zu beantworten und den Fragebogen danach per Fax oder E-Mail zurückzuschicken.

Einige Tage später erhalten Sie den Fragebogen, der nur sehr wenige Daten enthält:

einige allgemeine Daten über das Unternehmen: Verwaltungsdaten, Umsatz usw.

Betriebsdauer:	260 Tage/Jahr, 10 Stunden/Tag, 2 Schichten/Tag. nur ein Prozess: Waschen von Containern
Warmwasserbedarf:	100 m^3 / Tag bei 80 ºC
Wärmeversorgungsanlage:	Dampfkessel, keine weiteren Daten angegeben
verwendete Brennstoffe:	Erdgas, keine Daten über den Verbrauch angegeben

Obwohl die EINSTEIN Containerwasch-GesmbH kein komplizierter Geschäftsfall zu sein scheint, versuchen Sie Informationen über ähnliche Unternehmen einzuholen und sehen in den EINSTEIN BVT-Empfehlungen nach, ob dort Verbesserungsmöglichkeiten angegeben sind. Neben anderen Empfehlungen passen folgende am besten zu Ihrem Fall:

Prozessoptimierung beim Waschvorgang:

- „Überprüfen, ob der Wasserverbrauch und/oder die Wassertemperatur durch den Einsatz anderer Reinigungsmittel verringert werden kann“
- „Überprüfen, ob die Wiederverwendung des Abwassers oder ein geschlossener Wasserkreislauf möglich sind“

Empfehlungen hinsichtlich der Wärmeversorgung :

- „Überprüfen, ob eine Wärmerückgewinnung vom Abwasser möglich ist“
- „Für das Erhitzen von Wasser auf niedrige Temperaturen eignet sich Solarthermie sehr gut“

4.1.3 EINSTEIN Schritt 3: Verarbeitung vorläufiger Informationen

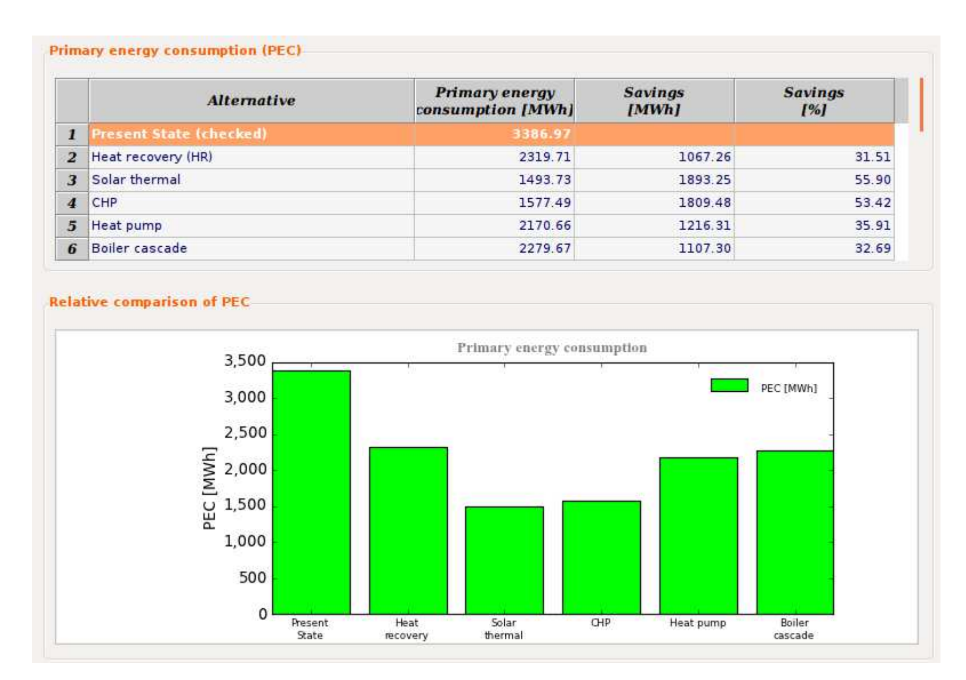
Zuerst geben Sie die Daten in die EINSTEIN Software ein, um zu sehen, ob und welche genauen Aussagen Sie mit den vorliegenden Daten bereits machen können. Aus Ihrer Erfahrung wissen Sie, dass Sie neben den Informationen aus dem Unternehmen auch einige Schätzungen über den möglichen Einsatz von Abwärme und Annahmen über die Energiepreise machen werden müssen. Für eine erste Annäherung gehen Sie von folgenden Daten aus (obwohl Sie sich dessen bewusst sind, dass die tatsächlichen Daten weit davon abweichen könnten und überprüft werden müssen, bevor Sie dem Unternehmen einen Vorschlag unterbreiten):

- Abwassermenge = Menge des verbrauchten Warmwassers: 100 m^3 / Tag
- Temperatur des Abwassers: 50 ºC
- Sie gehen von folgenden, auf Erfahrung beruhenden Energiepreisen aus, die Sie auch für andere Betriebe in gleicher Größe verwenden: Erdgaspreis: 30 €/MWh; Strompreis 85 €/MWh
- Wärmeverteilung: Dampf bei 2 bar, Vorlauftemperatur 140 °C, Rücklauftemperatur 60°C, 100 % Kondensatrückführung

Da Sie nur einen schnellen Überblick bekommen möchten, verwenden Sie den EINSTEIN Automatikmodus mit der Genauigkeitsstufe „Quick&Dirty". Sie erhalten die folgenden Ergebnisse:

- Sie haben Glück: Die Daten reichen für eine erste „Quick&Dirty“-Analyse aus und sind konsistent.
- Für eine genauere Analyse brauchen Sie die Nennleistung des derzeit installierten Heizkessels.
- Der geschätzte Jahresbedarf an Prozesswärme liegt bei 2118 MWh, der geschätzte Brennstoffverbrauch bei 2552 MWh; 71% des Wärmebedarfs oder ca. 1500 MWh beträgt weniger als 60 ºC.
- Die benötigte externe Wärmeversorgung kann durch Wärmerückgewinnung auf 1327 MWh verringert werden.
- Folgende zusätzliche energieeffiziente Lösungen werden vorgeschlagen:
  a) ein Solarthermiesystem mit einer Nennleistung von 693 kW, das 51% des restlichen Wärmebedarfs abdeckt
  b) eine KWK-Anlage mit thermischer Nennleistung von 333 kW, die 70 % des restlichen Wärmebedarfs abdeckt
  c) eine Wärmepumpe mit thermischer Nennleistung von 300 kW, die 20 % des restlichen Wärmebedarfs abdeckt
  d) Neuer Kessel mit höherer Energieeffizienz

Der alte Kessel wurde in allen Fällen durch einen neuen, effizienteren ersetzt. Das Ergebnis sehen Sie in Abbildung 35.



Primary energy consumption (PEC)

	Alternative	Primary energy consumption [MWh]	Savings [MWh]	Savings [%]
1	Present State (checked)	3386.97		
2	Heat recovery (HR)	2319.71	1067.26	31.51
3	Solar thermal	1493.73	1893.25	55.90
4	CHP	1577.49	1809.48	53.42
5	Heat pump	2170.66	1216.31	35.91
6	Boiler cascade	2279.67	1107.30	32.69

Abbildung 35: Vergleich des geschätzten derzeitigen Primärenergieverbrauchs und Reduktionspotential mit verschiedenen Maßnahmen zur Energieeffizienz

Um diese ersten Annahmen und erzielten Ergebnisse zu bestätigen, rufen Sie beim Unternehmen an und erfragen die Nennleistung des installierten Heizkessels. Sie erfahren, dass ein 3 MW Dampfkessel in der Fabrik installiert ist.

Da Sie kein Experte/keine Expertin in Fragen der erneuerbaren Energien sind, wenden Sie sich an KollegInnen, die in diesem Bereich arbeiten, um weitere Informationen zu erhalten.

Da Sie nun eine ungefähre Vorstellung vom Energieverbrauch im Unternehmen haben, können Sie die Benchmark-Daten zu Rate ziehen, um herauszufinden, ob der derzeitige Energieverbrauch innerhalb der „Good-Practice“-Spanne liegt.
Aus den Ergebnissen der schnellen Voranalyse erkennen Sie, welche Messungen vorgenommen werden könnten und setzen folgende Prioritäten für die weitere Datenerhebung fest:

- Temperatur des Abwassers und Verschmutzungsgrad feststellen (mögliche Probleme für die Wärmerückgewinnung)
- Verfügbare Oberflächen und Strukturmerkmale des Dachs für die mögliche Installation eines Solarthermie-Systems ermitteln
- Energieumwandlungseffizienz, Alter und Zustand des bestehenden Heizkessels ermitteln, um über einen möglichen Austausch des Dampfkessels entscheiden zu können

4.1.4 EINSTEIN Schritt 4: „Quick&Dirty“-Vorevaluierung

Die vorliegenden Daten reichen aus, um einen ersten Rohvorschlag auszuarbeiten, der dem Unternehmen vorgelegt und dort diskutiert wird. Dafür drucken Sie den Standard-Audit-Bericht der EINSTEIN Software aus. Sie beschließen diesen nicht per E-Mail zu versenden, sondern ihn während der Besichtigung vor Ort selbst vorzustellen.

4.1.5 EINSTEIN Schritt 5: Unternehmensbesichtigung

Beim Unternehmen erwartet Sie Frau Sauber und ein Bediener der Waschanlage. Sie präsentieren und erklären die Voranalyse, woraufhin das Unternehmen großes Interesse an den vorgeschlagenen Energiesparmaßnahmen bekundet, vor allem an den Möglichkeiten mit dem größten Sparpotential: Wärmerückgewinnung und Solarthermie.

Sie konzentrieren sich daher in Folge auf das Einholen weiterer Informationen, vor allem zu den Themen auf Ihrer Prioritätenliste. Sie erhalten die folgenden Zusatzinformationen:

- Der bestehende Dampfkessel ist sehr alt, und das Unternehmen denkt schon über einen möglichen Austausch nach. Frau Sauber hat in der Zwischenzeit Informationen von den Energierechnungen einholen können: Der Erdgasverbrauch betrug in den letzten drei Jahren zwischen 2.700 und 3.100 MWh pro Jahr.
- Der Betrieb hat ein flaches Betondach mit einer Fläche von ca. 2.000 m^2 ohne statische Probleme für die Installation eines Solarthermie-Systems.
- Das gesamte Abwasser wird in einem kleinen Speicher gesammelt, bevor es in einer Abwasseraufbereitungsanlage von Chemikalien und anderen Verschmutzungen befreit wird. Sie können keine weiteren Informationen über die Wassertemperatur erhalten. Sie erfahren, dass das Abwasser nichtkorrosiv ist und keine bedeutenden Mengen an anderen Verschmutzungen wie Fasern enthält, die ein Problem für die Wärmetauscher darstellen könnten.

Da Sie ohnehin Ihren Laptop für die Präsentation mitgebracht haben, nützen Sie die Gelegenheit, die gerade beschafften neuen Informationen in die EINSTEIN Software einzugeben und zu überprüfen, ob sie mit den Vorinformationen übereinstimmen. In unserem Fall tun sie das. Die neuen Daten über den Energieverbrauch geben Anlass zur Vermutung, dass der bestehende Heizkessel sehr ineffizient ist (Die geschätzte Umwandlungseffizienz des Kessels beträgt 74 %!).

Während der Betriebsbesichtigung messen Sie die Temperatur des Abwassers im Abwassersammelbecken. Sie nehmen zwei Messungen vor, eine zu Beginn der Besichtigung und eine am Ende, bevor Sie das Unternehmen verlassen. Sie erhalten die folgenden Werte:

- Messungen der Temperatur des Abwassers im Sammelbecken: (a) 51,3 ºC (als drei Waschvorgänge parallel in Betrieb waren); (b) 42,8 ºC (als nur ein Waschvorgang lief).

Die Werte weichen nicht sehr stark von Ihren zuvor getätigten Schätzungen ab. Trotzdem empfehlen Sie dem Unternehmen, die Temperatur eine Woche lang zu überwachen und auch die Beginn- und Endzeit der Waschzyklen und den Wasserverbrauch aufzuzeichnen.

Nach der Besichtigung teilen Sie Frau Sauber Ihre Beobachtungen kurz mit. Sie erklären Ihr, dass die wichtigsten Aspekte der vorher präsentierten vorläufigen Machbarkeitsstudie Ihrer Ansicht nach auch weiterhin gelten. Sie schlagen vor, zunächst auf die fehlenden Messdaten zu warten. Der Bediener der Waschlinie verspricht, die Messungen in den nächsten Wochen vorzunehmen. Somit können Sie Frau Sauber versprechen, den Abschlussbericht des Audits in zwei Wochen zu liefern.

4.1.6 EINSTEIN Schritt 6: Analyse des Ist-Zustandes

Nachdem Sie die Messergebnisse aus dem Unternehmen per Fax erhalten und diese analysiert haben, ergibt sich eine durchschnittliche Abwassertemperatur von 45,2 °C. Sie korrigieren Ihre erste Schätzung von 50 auf 45 °C für die endgültige Unternehmensanalyse. Sie erhalten eine Aufgliederung des Prozesswärmeverbrauchs nach Temperaturniveau wie in Abbildung 36 zu sehen.

Außerdem bestätigt sich, dass das bestehende Wärmeversorgungssystem mit einem sehr schlechten Wirkungsgrad von ca. 75 % arbeitet.

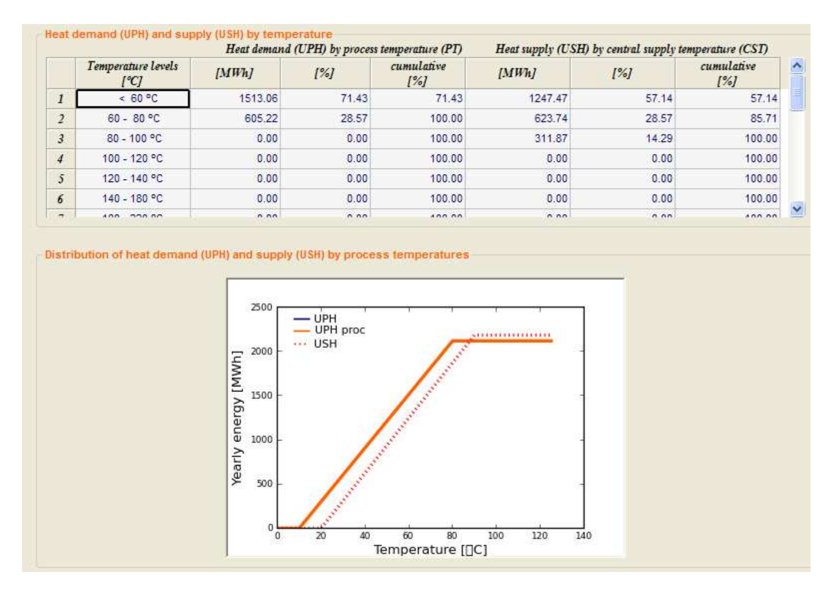


Abbildung 36: Aufgliederung des Energieverbrauchs (Beispiel): Prozesswärme und Zufuhrwärme nach Temperaturniveau (Anmerkung: Die benötigte Mindesttemperatur ist für die Zufuhrwärme, aber nicht für die tatsächliche Dampfzufuhrtemperatur gegeben)

4.1.7 EINSTEIN Schritt 7: Erstellung des Konzepts der Einsparungsmöglichkeiten

4.1.7.1 Prozessoptimierung

Aus den Gesprächen im Unternehmen können Sie schließen, dass es keine Möglichkeit gibt, den Waschvorgang selbst zu verbessern. Sie beschließen also, sich auf die Wärmerückgewinnung und Versorgungsoptimierung zu konzentrieren.

4.1.7.2 Wärmerückgewinnung

Als erste Maßnahme zur Energieeffizienzsteigerung schlagen Sie vor, die Wärme aus dem Abwasser und der Kesselabgase für das Heizen des frischen Speisewassers zu nützen. Sie verwenden die EINSTEIN Software für eine quantitative Abschätzung des Potentials zur Wärmerückgewinnung. Der verbleibende Wärmebedarf ist die Grundlage für alle Vorschläge zur Optimierung der Wärmeversorgung.

4.1.7.3 Wärmeversorgung

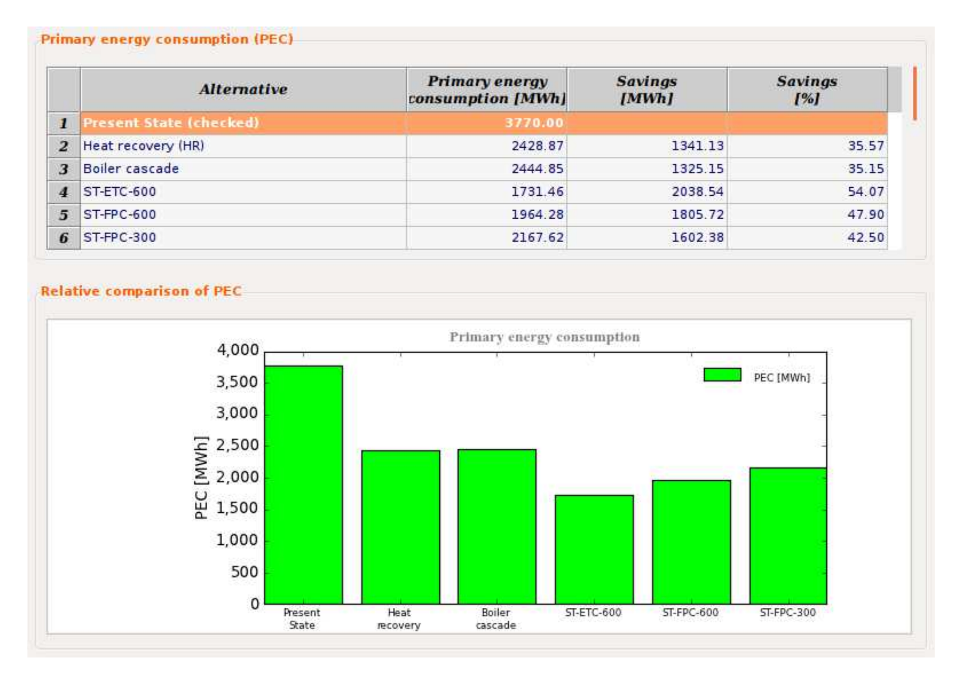
Da Sie nur ein Schnell-Audit durchführen möchten, übernehmen Sie einige der von der EINSTEIN Software automatisch erstellten Optionen. Für Ihren Vorschlag, der die Wärmerückgewinnung mit einem Solarthermie-System und dem Austausch des bestehenden ineffizienten, überdimensionierten Heizkessels durch einen neuen, kleineren kombiniert, führen Sie allerdings eine Feinabstimmung durch.

Der automatisch generierte Vorschlag sieht ein 624 kW Solarthermie-System mit Vakuumröhrenkollektoren vor. Sie beschließen das per Hand abzuändern:

- Sie runden das Ergebnis auf 600 kW und 40m³ Speicher

- Sie vergleichen verschiedene Kollektorentypen: Flachkollektoren (FPC) und Vakuumröhrenkollektoren (ETC).
- Sie prüfen einen 3. Solarthermie-Vorschlag mit einem kleineren Solarsystem (FPC 300 kW).

Ein neuer Kessel mit einer Nennleistung von 650 kW wäre laut Autodesign der EINSTEIN Software für alle 3 Größen des Solarsystems das Richtige.



Primary energy consumption (PEC)

	Alternative	Primary energy consumption [MWh]	Savings [MWh]	Savings [%]
1	Present State (checked)	3770.00		
2	Heat recovery (HR)	2428.87	1341.13	35.57
3	Boiler cascade	2444.85	1325.15	35.15
4	ST-ETC-600	1731.46	2038.54	54.07
5	ST-FPC-600	1964.28	1805.72	47.90
6	ST-FPC-300	2167.62	1602.38	42.50

Abbildung 37: Vergleich des derzeitigen Primärenergieverbrauchs mit Alternativen und das Reduktionspotential der verschiedenen Maßnahmen zur Energieeffizienz. Alle Solarthermie-Vorschläge basieren auf der Alternative „Wärmerückgewinnung“ und beinhalten auch Wärmerückgewinnung und Kesseltausch

4.1.8 EINSTEIN Schritt 8: Berechnungen der Energieleistung



Abbildung 38 Wöchentliche Wärmeversorgung durch unterschiedliche Geräte. Alternative „ST-ETC-600".

Um die saisonale Systemleistung zu ermitteln, führen Sie mit dem EINSTEIN Instrument eine Systemsimulation zur internen Berechnung der Energieleistung durch. Die Ergebnisse zeigen die wöchentliche Systemleistung (Abbildung 38).

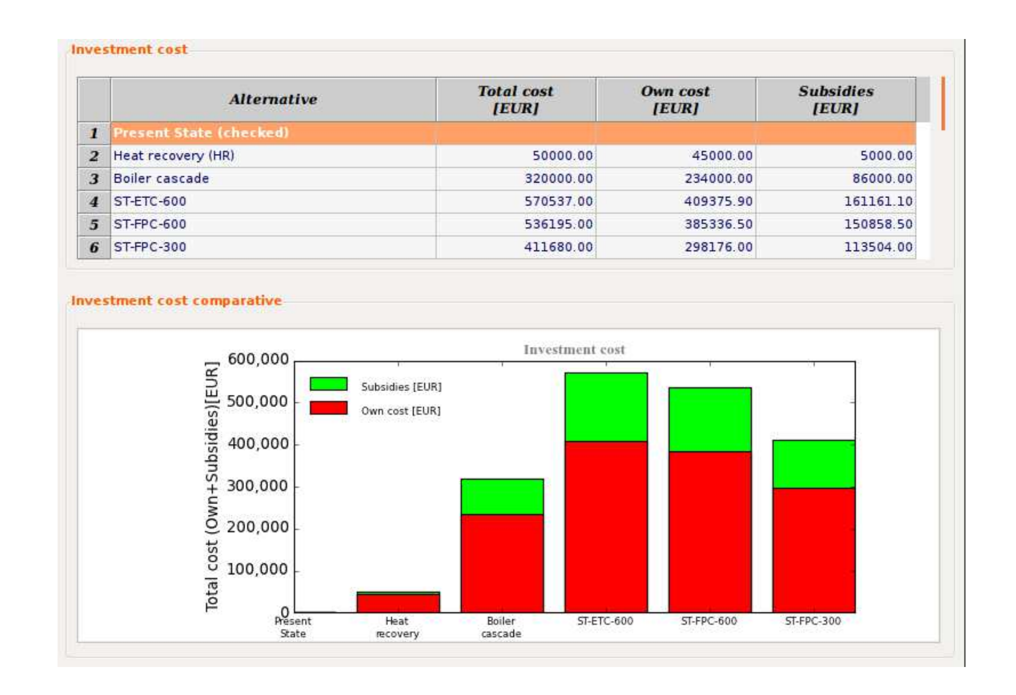
4.1.9 EINSTEIN Schritt 9: Wirtschaftlichkeits- und Finanzanalyse

Schlussendlich nehmen Sie noch einen Vergleich der Vorschläge nach ihrer Wirtschaftlichkeit vor. Zur schnellen Berechnung übernehmen Sie die automatisch kalkulierten Investmentkosten inkl. W&I aus der EINSTEIN Datenbank und fügen noch händisch die geschätzten Kosten für das Wärmerückgewinnungssystem hinzu[15]..

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeits- und Finanzanalyse sind in den folgenden 3 Abbildungen zu sehen.

In Abbildung 39 sind die Anschaffungskosten und Subventionen eingetragen.

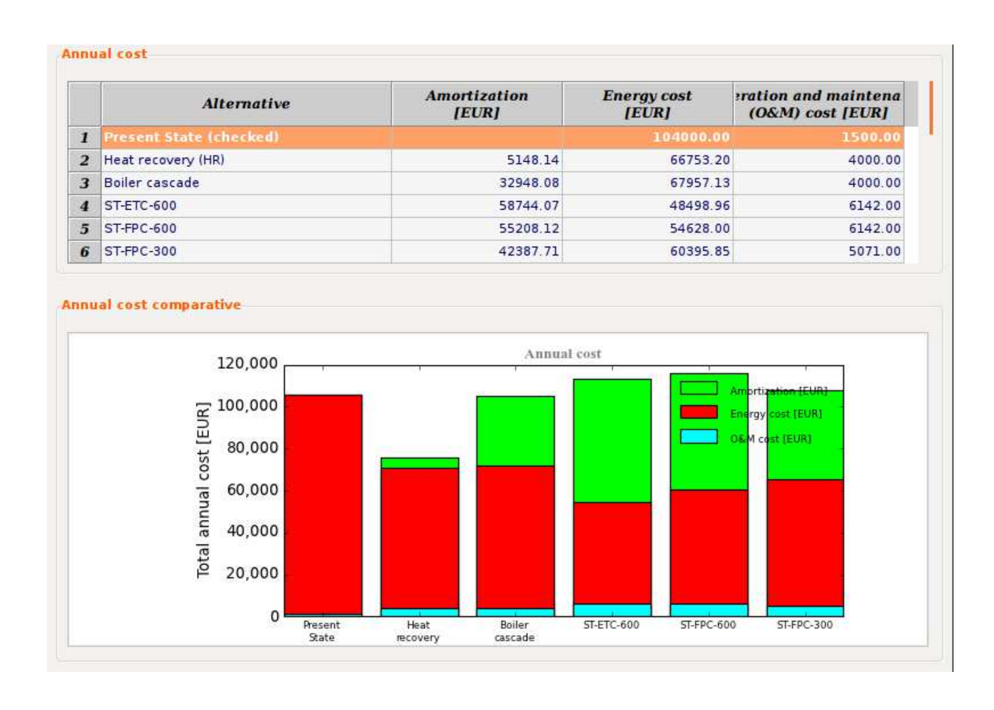
[15] Die für die Finanzanalyse verwendeten Werte sind: Anschaffungs- und Instandhaltungskosten (für den derzeitigen Wärmeverbrauch): 1.500 EUR; jährliche Inflationsrate: 2 %; Energiepreiserhöhung: 4 %; Nominalzins für extern finanzierte Anschaffungen: 8 %; Amortisationszeit: 15 Jahre; Händisch hinzu gefügte Anschaffungskosten für das Wärmerückgewinnungssystem: 50.000 EUR


Investment cost

	Alternative	Total cost [EUR]	Own cost [EUR]	Subsidies [EUR]
1	Present State (checked)			
2	Heat recovery (HR)	50000.00	45000.00	5000.00
3	Boiler cascade	320000.00	234000.00	86000.00
4	ST-ETC-600	570537.00	409375.90	161161.10
5	ST-FPC-600	536195.00	385336.50	150858.50
6	ST-FPC-300	411680.00	298176.00	113504.00

Abbildung 39: Vergleich der Anschaffungskosten der unterschiedlichen Energieeffizienzmaßnahmen. Alle Vorschläge zur Solarwärme basieren auf der alternative „Wärmerückgewinnung“ und inkludieren Wärmerückgewinnung und Kesselaustausch.

Abbildung 40 zeigt die jährlichen Energiekosten der alternativen Systeme beinhaltend die Energiekosten, Anschaffungs- und Instandhaltungskosten und die Annuität der Anschaffungskosten. Die geringsten Kosten entstehen durch die Wärmerückgewinnung mit moderaten Primärenergieeinsparungen. Die großen Solarsysteme bieten hohe Primärenergieeinsparungen und verursachen hohe Gesamtenergiekosten bedingt durch die Anschaffungkosten der Systeme.

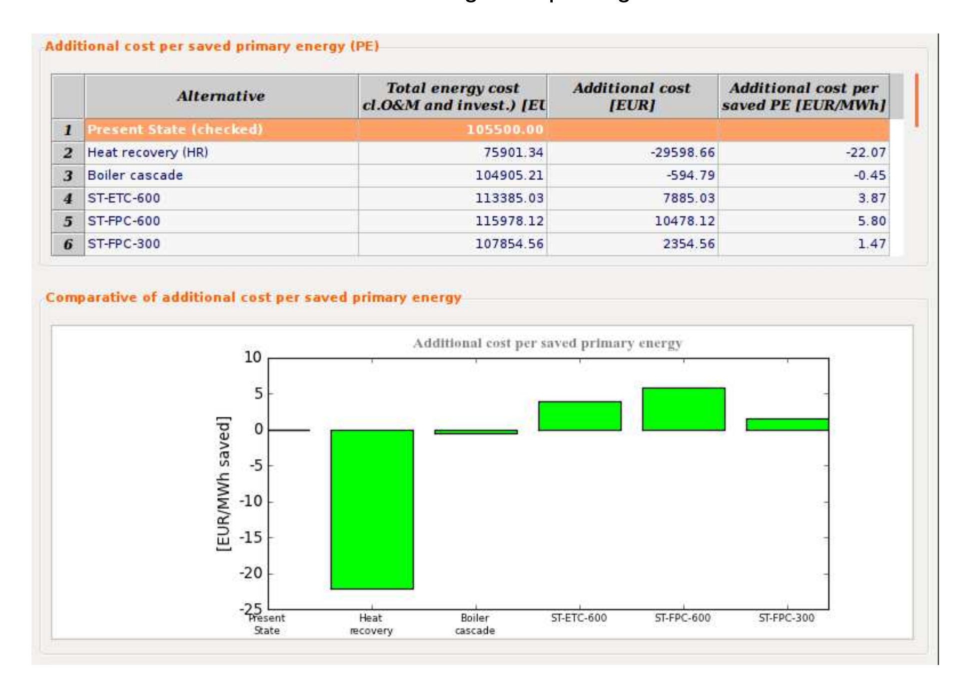

Annual cost

	Alternative	Amortization [EUR]	Energy cost [EUR]	ration and maintena (O&M) cost [EUR]
1	Present State (checked)		104000.00	1500.00
2	Heat recovery (HR)	5148.14	66753.20	4000.00
3	Boiler cascade	32948.08	67957.13	4000.00
4	ST-ETC-600	58744.07	48498.96	6142.00
5	ST-FPC-600	55208.12	54628.00	6142.00
6	ST-FPC-300	42387.71	60395.85	5071.00

Abbildung 40: Vergleich der jährlichen Kosten (inkl. Annuität betr. Gesamt-Anschaffungswert) der verschiedenen Energieeffizienzmaßnahmen. Alle Vorschläge zur Solarwärme basieren auf der alternative „Wärmerückgewinnung“ und inkludieren Wärmerückgewinnung und Kesseltausch.

Abbildung 41 zeigt die zusätzlichen Kosten pro Energieeinsparung. Durch die alternative „Wärmerückgewinnung“ ist sowohl eine Reduktion der Primärenergie als auch eine Verminderung der

jährlichen Gesamtenergiekosten möglich. Die Alternativen mit Solarsystem (ST) führen zu höheren Einsparungen an Primärenergie, die jährlichen Gesamtkosten sind aber auch entsprechend höher. Die Alternative ST-FPC-300 bietet sehr hohe Primärenergieeinsparungen und ist nahezu kostenneutral.


Additional cost per saved primary energy (PE)

	Alternative	Total energy cost cl.O&M and invest.) [EU	Additional cost [EUR]	Additional cost per saved PE [EUR/MWh]
1	Present State (checked)	105500.00		
2	Heat recovery (HR)	75901.34	-29598.66	-22.07
3	Boiler cascade	104905.21	-594.79	-0.45
4	ST-ETC-600	113385.03	7885.03	3.87
5	ST-FPC-600	115978.12	10478.12	5.80
6	ST-FPC-300	107854.56	2354.56	1.47

Abbildung 41: Vergleich der zusätzlichen jährlichen Kosten pro Energieeinsparung durch die unterschiedlichen Energieeffizienzmaßnahmen. Alle Vorschläge zur Solarwärme basieren auf der alternative „Wärmerückgewinnung“ und inkludieren Wärmerückgewinnung und Kesseltausch.

4.1.10 EINSTEIN Schritt 10: Bericht und Präsentation

Sie sind mit dem Ergebnis zufrieden. Mit der Alternative ST-FPC300 können Sie dem Unternehmen einen attraktiven Vorschlag mit 42,5 % Primärenergieersparnis präsentieren. Sie drucken den von der Software automatisch erstellten EINSTEIN Audit-Bericht aus, befüllen eine Präsentation mit den Daten und rufen Frau Sauber an, um einen Termin für die Präsentation der Ergebnisse zu vereinbaren.

4.2 Datenüberprüfung und -schätzung

In diesem Abschnitt finden Sie einige Beispiele dazu, wie Sie die EINSTEIN Software zur Überprüfung der Konsistenz der Daten einsetzen können. Am vereinfachten Beispiel einer Molkerei mit nur drei Prozessen sollen die wichtigsten mit der EINSTEIN Software durchführbaren Möglichkeiten veranschaulicht werden. Die beschriebenen Beispiele sind auch in der Default-Datenbank der EINSTEIN.

4.2.1 Beschreibung des Modells Molkerei

4.2.1.1 Prozesse

Drei typische Prozesse einer Molkerei werden beleuchtet:

- Pasteurisation (Prozess 1)
- Eindicken (Prozess 2)
- Mozzarella-Produktion (Prozess 3)

Die Pasteurisation ist der Prozess mit dem höchsten Energieverbrauch. In der Molkerei in unserem Beispiel wird 280 Tage im Jahr gearbeitet. Es werden vor allem zwei Produkte hergestellt: normaler Käse und Mozzarella. Zwischenerzeugnisse sind: pasteurisierte Milch (aus der Pasteurisation), Molke und Topfen (beide aus der Eindickung).

Pasteurisation

Die Pasteurisation ist ein kontrollierter Erwärmungsprozess, bei dem alle in der Milch vorkommenden lebensfähigen Mikroorganismen wie Erreger oder Stoffe, die die Milch verderben können, abgetötet werden. Die Kurzzeithocherhitzung (HTST) erfolgt bei Temperaturen von 72-75 °C und dauert 15-24 Sekunden. Bei der kontinuierlichen Pasteurisation kommen Durchflusswärmetauscher – wie Rohrwärmetauscher oder Plattenwärmetauscher – zum Einsatz. Diese verfügen über Abschnitte zum Wärmen, Temperaturhalten und Kühlen.

Bei der Pasteurisation sind eine interne Wärmerückgewinnung und eine externe Wärmeversorgung für das Wärmen und Kühlen einer zirkulierenden Flüssigkeit (Milch) vorgesehen. Täglich werden 400 m^3 Milch pasteurisiert. Es handelt sich dabei um einen kontinuierlichen Prozess, der 5 Stunden/Tag läuft – von 6 bis 11 Uhr. Heißes Wasser kommt als Medium zur externen Wärmezufuhr zum Einsatz.

Die Milch wird bei einer Temperatur von 4 °C in die Anlage eingefüllt, fließt dann durch einen internen Gegenstromwärmetauscher, in dem die ausfließende Milch die einfließende auf 38 °C erhitzt. Die vorgewärmte Milch wird dann mit heißem Wasser weiter auf 72 °C erhitzt, bleibt beim Fließen durch den Wärmetauscher einige Zeit lang auf diesem Temperaturniveau und wird dann wieder auf 38 °C abgekühlt. Der Energiebedarf aufgrund von Wärmeverlusten des Pasteurs und jener bei der Inbetriebnahme wird in diesem Fall als vernachlässigbar angenommen.

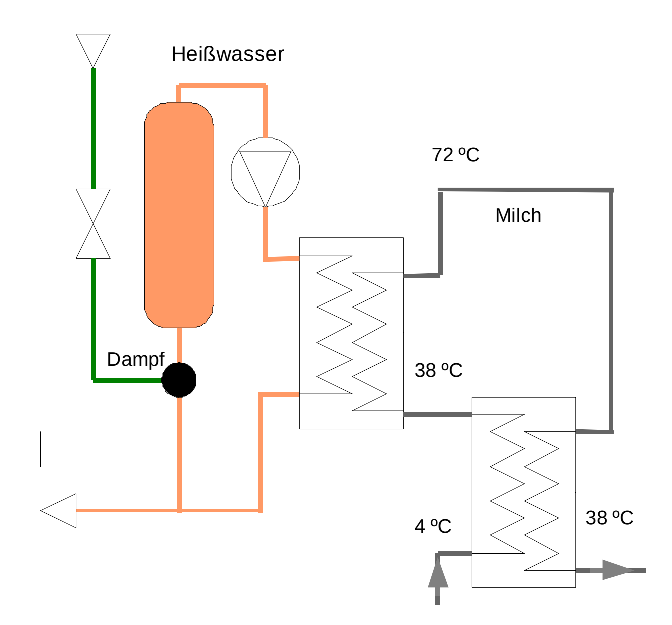


Abbildung 42: Vereinfachtes Schema des Pasteurisators

Eindicken

In der Milchverarbeitung wird die Eindickung dazu eingesetzt, den Topfen von der Molke zu trennen. Die Eindickung erfolgt in geeigneten Wannen oder Tanks, wo der Milch Starterkulturen und andere Zutaten beigefügt werden, um ein Koagulat herzustellen. Der Topfen entsteht bei der Abtrennung der Molke, der aufgefangen und dann je nach Bedarf weiter verarbeitet wird. Die Temperatur ist einer der Haupteinflussfaktoren bei der Eindickung der Milch. Die benötigte Temperatur wird entweder mit Wärmetauschern oder durch die direkte Einspritzung von Dampf in die Eindickungswanne erreicht.

Die Eindickung ist ein Batch-Prozess. In unserem Fall dauert ein Batch 1,5 Std. Vier Batches laufen pro Tag zwischen 10:00 und 16:00. Am Beginn des Batches wird Wärme benötigt, um die pasteurisierte Milch von der Einlauftemperatur (37 °C) auf die Prozesstemperatur (40 °C) zu erhitzen. Während des Eindickungsverfahrens wird thermische Energie benötigt, um die Prozesstemperatur konstant auf 40 °C zu halten.

Das gesamte tägliche Milchvolumen von 400 m^3 kommt nach der Pasteurisation zur Eindickung. Durch die Abtrennung entstehen als Prozessergebnis 240 m^3 Molke/Tag bei 37 °C.

Mozzarella-Produktion

Bei der Mozzarella-Produktion wird das Produkt gewärmt und geschmolzen. Die Molke wird in einen Verarbeitungskessel eingebracht und mit heißen Wasser mit einer hohen Temperatur von üblicherweise 75-95 °C vermischt. Das heiße Wasser wird vor allem zum Schmelzen des Koagulats eingesetzt. Ein bestimmter Anteil des Prozesswassers wird auch von der Molke absorbiert, was deren Elastizität erhöhen soll. Das Wasser wird entweder mit Wärmetauschern oder durch die direkte Einspritzung von Dampf erhitzt.

Die Mozzarella-Produktion ist ebenfalls ein Batch-Prozess. In diesem Fall dauert ein Batch 1 Std. Pro Tag laufen vier Batches zwischen 12:00 und 18:00. Thermische Energie wird hierbei benötigt, um die Temperatur des Prozesswassers von 10 auf 90 °C zu erhöhen. 50 % der täglich pasteurisierten Milch wird nach der Eindickung für die Herstellung von Mozzarella verwendet. Wenn man davon ausgeht, dass man pro 100 Liter Milch 26 Liter heißes Wasser für die Herstellung von 13 kg Mozzarella benötigt, so sind das für 200 m^3 pasteurisierter Milch/Tag insgesamt 52 m^3 Wasser bei 90 °C. Die Austrittstemperatur des Abwassers beträgt 70 °C, während man annimmt, dass die Durchflussmenge 80 % der Tageseintrittsmenge, d.h. ca. 41 m^3 ausmacht.

4.2.1.2 Wärmeversorgung und -verteilung

In Abbildung 43: Blockdiagramm des Systems für Wärmeversorgung und -verteilung und der thermischen Prozesse in der Molkerei

finden Sie ein Schema der Wärmeversorgung und -verteilung mit zwei mit Erdgas betriebenen Dampfkesseln und drei unabhängigen Leitungen zu jedem der drei Prozesse.

Kessel B1 (Nennleistung 3 MW) versorgt nur den Pasteurisationsprozess (P1). Der durchschnittliche Wirkungsgrad und auch der durchschnittliche Auslastungsfaktor liegen bei 80%. Der Nennverbrauch an Erdgas beträgt 301,8 kg/h. Kessel B1 läuft 6 Stunden pro Tag, von 5:00-11:00.

Kessel B2 (Nennleistung 2 MW) versorgt alle drei Prozesse (P1: Pasteurisation, P2: Eindickung, P3: Mozzarella-Produktion). Der durchschnittliche Wirkungsgrad beträgt 88 %, während der durchschnittliche Auslastungsfaktor bei 59,4 % liegt. Der Nennverbrauch an Erdgas beträgt 192 kg/h. Kessel 2 läuft 8 Stunden pro Tag, von 10:00-18:00**.**

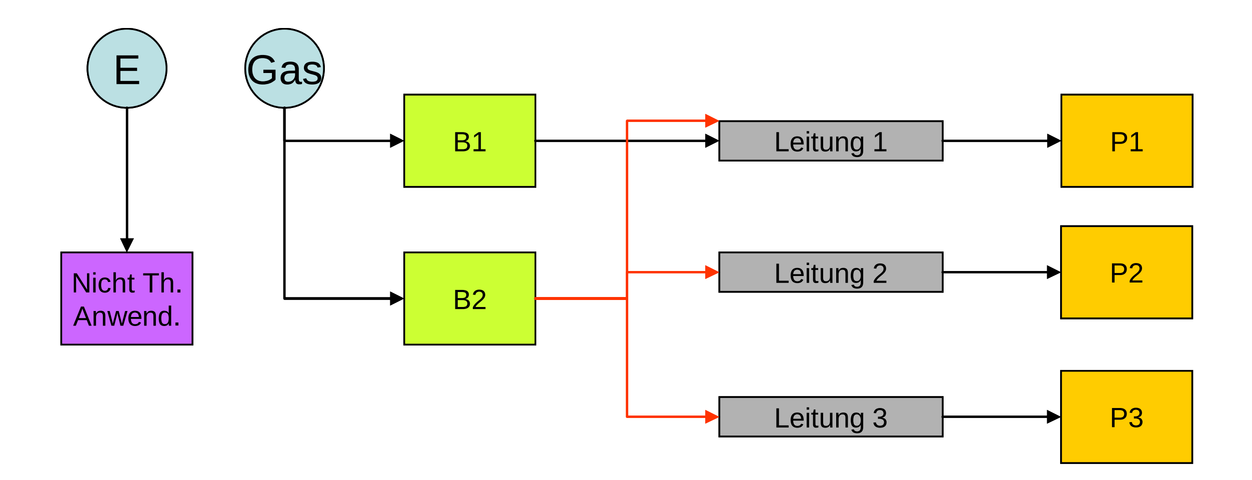


Abbildung 43: Blockdiagramm des Systems für Wärmeversorgung und -verteilung und der thermischen Prozesse in der Molkerei

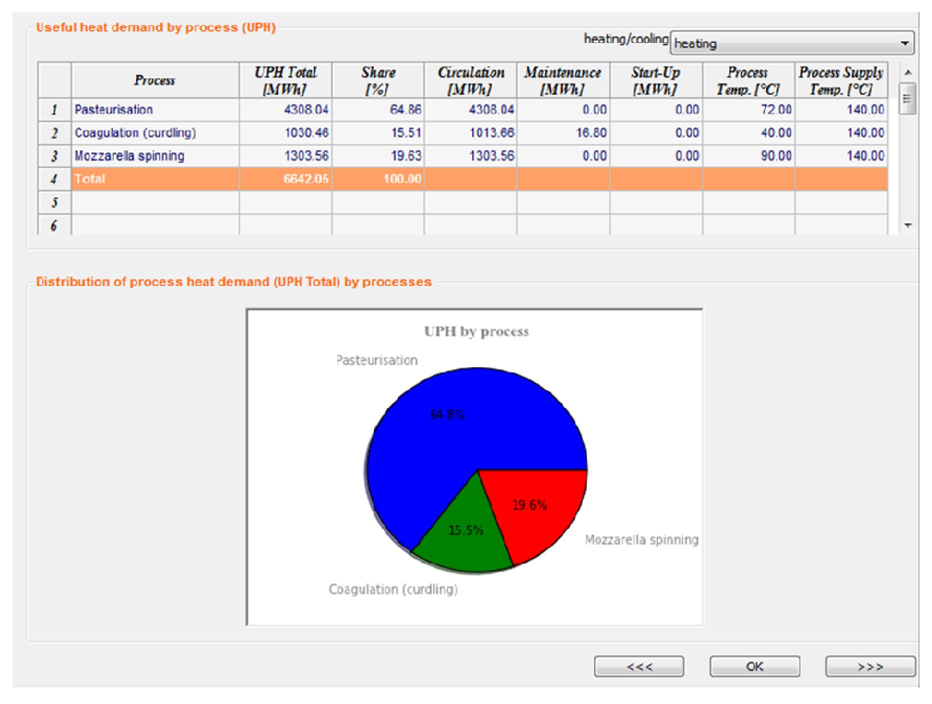
Der verwendete Wärmeträger ist Niederdruckdampf bei 140 °C mit einer Kondensatrückführung von 60°C. Die Länge der Rohrleitungen beträgt 200 m (eine Richtung) für Rohr 1, während die Rohre 2 und 3 eine Länge von 100 m aufweisen.

Anhand der Energierechnungen weiß man, dass pro Jahr 811.200 m^3 Brennstoff (Erdgas) verbraucht werden. Der Endenergieverbrauch an Erdgas für thermische Zwecke (d.h. der Jahresverbrauch (H_i)) beträgt 8.063 MWh.

Strom wird nur für nicht-thermische Zwecke eingesetzt. Der Verbrauch liegt bei 400 MWh: 300 für den Antrieb der Maschinen und 100 MWh für die Beleuchtung.

4.2.1.3 Das Basisszenarium (Base Case) Aufgliederung des Energieverbrauchs mit der EINSTEIN Software

Nach Eingabe der Daten in die EINSTEIN Software und nach Durchführung der Datenüberprüfung , erhalten Sie die Daten wie unten abgebildet.



	Process	UPH Total [MWh]	Share [%]	Circulation [MWh]	Maintenance [MWh]	Start-Up [MWh]	Process Temp. [°C]	Process Supply Temp. [°C]
1	Pasteurisation	4308.04	64.86	4308.04	0.00	0.00	72.00	140.00
2	Coagulation (curdling)	1030.46	15.51	1013.66	16.80	0.00	40.00	140.00
3	Mozzarella spinning	1303.56	19.63	1303.56	0.00	0.00	90.00	140.00
4	Total	6642.05	100.00					
5								
6								

Abbildung 44: Aufgliederung des Verbrauchs an Prozesswärme für die Beispielsmolkerei (Beispielprojekt „EINSTEIN Audit-Leitfaden 42 Base Case").

Wenn Sie die Daten korrekt in die EINSTEIN Software eingeben, erhalten Sie eine Aufgliederung des gesamten Energieverbrauchs mit den oben angegebenen Daten (Abbildung 44: Aufgliederung des Verbrauchs an Prozesswärme für die Beispielsmolkerei (Beispielprojekt „EINSTEIN Audit-Leitfaden 42 Base Case").

). Die wichtigsten Energieströme des Systems finden Sie in Abbildung 45.

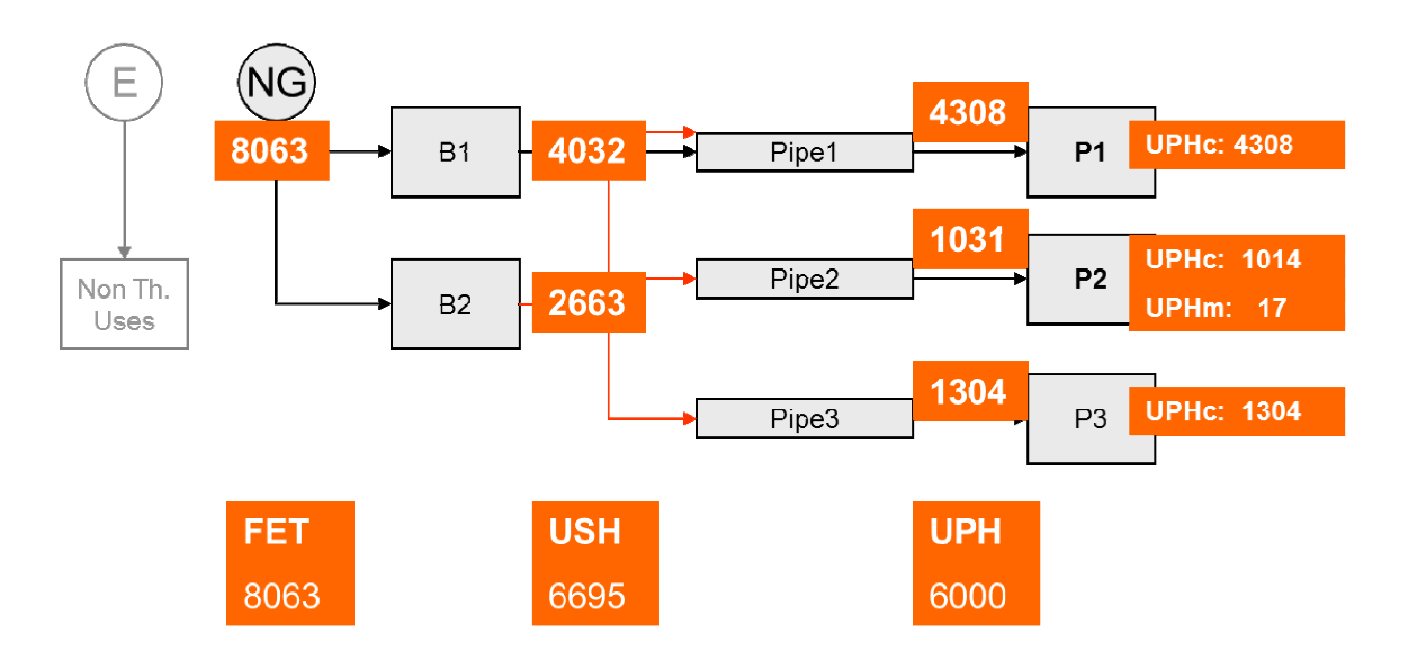


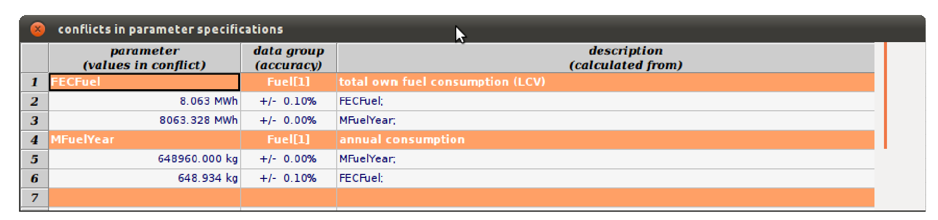
Abbildung 45: Energieströme des Systems (Base Case)

4.2.2 Widersprüche in den Daten feststellen

Wie schon in Kapitel 2 beschrieben, wird als einer der ersten Schritte bei der Datenüberprüfung kontrolliert, ob die vorliegenden Daten konsistent sind, oder ob es Widersprüchlichkeiten gibt. Zur Veranschaulichung folgen nun zwei Beispiele.

4.2.2.1 Widersprüche zwischen zwei Informationen über dieselbe Menge

Einen Widerspruch bei den eingegebenen Daten kann beispielsweise einfach darauf zurück zu führen sein, dass falsche Einheiten verwendet wurden (z.B. kWh statt MWh). Der Gesamtenergieverbrauch von 8.063 MWh für unser Beispiel entspricht einem Verbrauch von Erdgas von 811.200 m^3. Wenn einE BenutzerIn fälschlicherweise 8.063 ***kWh*** statt 8.063 ***MWh*** eingibt, kann das EINSTEIN Tool diesen Fehler leicht erkennen (**Error! Reference source not found.**).



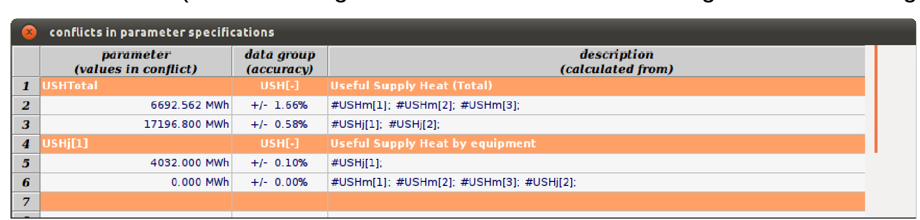
conflicts in parameter specifications

	parameter (values in conflict)	data group (accuracy)	description (calculated from)
1	FECFuel	Fuel[1]	total own fuel consumption (LCV)
2	8.063 MWh	+/- 0.10%	FECFuel;
3	8063.328 MWh	+/- 0.00%	MFuelYear;
4	MFuelYear	Fuel[1]	annual consumption
5	648960.000 kg	+/- 0.00%	MFuelYear;
6	648.934 kg	+/- 0.10%	FECFuel;
7			

Abbildung 46: Fehlermeldung der EINSTEIN Software bei widersprüchlichen Daten über den Brennstoffverbrauch (Beispielprojekt „EINSTEIN Audit-Leitfaden 42 1a“)

4.2.2.2 Allgemeine Widersprüche in den Systemdaten

Nicht alle widersprüchlichen Daten sind jedoch so einfach auszumachen wie im oben angeführten Beispiel. Manchmal ist die Berechnung der Systemenergiebilanzen oder die Evaluierung der Durchflussmengen, Temperaturniveaus usw. von Nöten, um Widersprüchlichkeiten ausfindig machen zu können. Als zweites Beispiel können wir einen Gesamtbrennstoffverbrauch eingeben, der viel höher ist als die Summe des Wärmebedarfs aller Prozesse (mit vernünftigen Werten für die Umwandlungs- und Verteilungseffizienz).



conflicts in parameter specifications

	parameter (values in conflict)	data group (accuracy)	description (calculated from)
1	USHTotal	USH[-]	Useful Supply Heat (Total)
2	6692.562 MWh	+/- 1.66%	#USHm[1]; #USHm[2]; #USHm[3];
3	17196.800 MWh	+/- 0.58%	#USHj[1]; #USHj[2];
4	USHj[1]	USH[-]	Useful Supply Heat by equipment
5	4032.000 MWh	+/- 0.10%	#USHj[1];
6	0.000 MWh	+/- 0.00%	#USHm[1]; #USHm[2]; #USHm[3]; #USHj[2];
7			

Abbildung 47: Fehlermeldung der EINSTEIN Software bei widersprüchlichen Daten über die Energiebilanzen – gesamte Nutzwärme (Beispielsprojekt „EINSTEIN Audit-Leitfaden 42 1b“)

4.2.3 Datenvervollständigung mit EINSTEIN

Im oben angegebenen Base Case wurde ein vollständiger Datensatz in das EINSTEIN Tool eingegeben, was bedeutet, dass für die Ermittlung mehrerer Parameter sogar redundante Information zur Verfügung steht (was - wie oben erwähnt - auch zu Widersprüchlichkeiten führen kann).

Aber wir wissen ja, dass EINSTEIN ein kluges Köpfchen ist und nicht unbedingt alle Daten benötigt. Er kann fehlende Informationen auch selbst berechnen. Errechnete oder geschätzte Daten sind jedoch nur zu einem gewissen Ausmaß verlässlich wie Sie im Fenster Datenquerüberprüfung sehen können. Bevor Sie die Daten übernehmen und mit dem Audit fortfahren, sollten Sie eine Bewertung durchführen und überlegen, ob das Ausmaß an Unsicherheit in diesem Fall akzeptabel ist oder nicht.

Im folgenden Abschnitt lernen Sie, wie Sie das EINSTEIN Modul zur Datenüberprüfung einsetzen können, um die Informationen über das Unternehmen aus einem beschränkten und unvollständigen Datensatz zu vervollständigen.

4.2.3.1 Der Verbrauch von Prozesswärme ist nur für die Hauptprozesse bekannt

In der Praxis ist es oft so, dass nur der Energieverbrauch der wichtigsten wärmeverbrauchenden Prozesse bekannt ist, während es noch einen oder mehrere kleine Prozesse mit unbekanntem Wärmebedarf gibt. Um zu zeigen, wie man dann vorgeht, haben wir unser Beispiel so abgeändert, dass der Energieverbrauch von Prozess 2 (Eindickung) unbekannt ist:

- Der Wärmebedarf (Zirkulation) des laufenden Prozesses (Strömungsgeschwindigkeit des Prozessmediums beim Einfließen in den Behälter) wurde nicht angegeben. Das bedeutet Q_{UPHm} könnte jeden beliebigen – auch einen sehr hohen – Wert annehmen.
- Der Teillastfaktor von Kessel B2 wurde nicht angegeben. Das bedeutet, dass auch die von Kessel B2 abgegebene Wärme nicht bekannt ist. Die von diesem Gerät erzeugte Gesamtwärme ist jedoch in diesem Fall durch den Energieverbrauch von 8.063 kWh, die bekannte Nennleistung des Heizkessels und die maximalen Betriebsstunden *begrenzt*.
- Die Länge der Rohre Nr. 2 und 3 sind ebenfalls unbekannt.

Die Gesamtsituation ist nicht völlig klar: Eine genaue Lösung des Problems ist nicht möglich, da wir die Wärmeverluste der Rohrleitungen nicht genau kennen. Das Problem hält sich jedoch in Grenzen, da man den Gesamtenergieverbrauch kennt, und EINSTEIN auf dieser Basis den fehlenden Parameter – den Wärmebedarf von Prozess 2 – errechnen kann. In unserem Fall liegt der Wärmebedarf von Prozess 2 bei 467 MWh mit einem Fehlerspielraum von fast 100 %, der sich daraus ergibt, dass man nicht weiß, wie hoch die Wärmeverluste der Rohrleitungen sind.

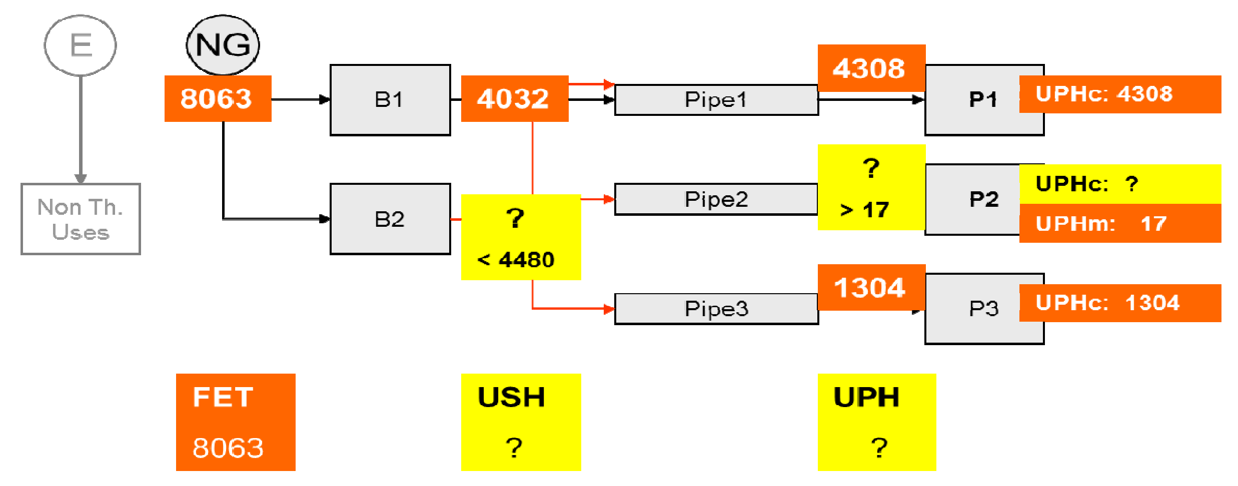


Abbildung 48: Ausgangspunkt der Analyse: Energieverbrauch eines kleinen Prozesses unbekannt (Beispielprojekt „EINSTEIN Audit-Leitfaden 42 2a")

4.2.3.2 Gesamtwärmebedarf ist unbekannt

Das Problem wird noch komplexer, wenn keine Informationen über den Gesamtwärmebedarf vorliegen, und außerdem auch der Wärmebedarf von Prozess 2 – wie im vorigen Abschnitt – unbekannt ist. Aber auch in diesem Fall gibt es *Grenzwerte*, da die Nennleistung von Kessel 2 ein absolutes Maximum bestimmt.

Es können jetzt nur sehr grobe Grenzwerte für den Wärmebedarf von Prozess 2 bestimmt werden – ca. 1.244 MWh mit einem Fehlerspielraum von 100 MWh.

Die relative Unsicherheit über den *gesamten* Wärmebedarf (*USH*) ist jedoch viel geringer (8.342 MWh ± 32 %). Das bedeutet, dass auch wenn der Bedarf eines Prozesses völlig unbekannt ist, trotzdem eine vernünftige erste Schätzung über den Gesamtwärmebedarf angestellt werden kann.

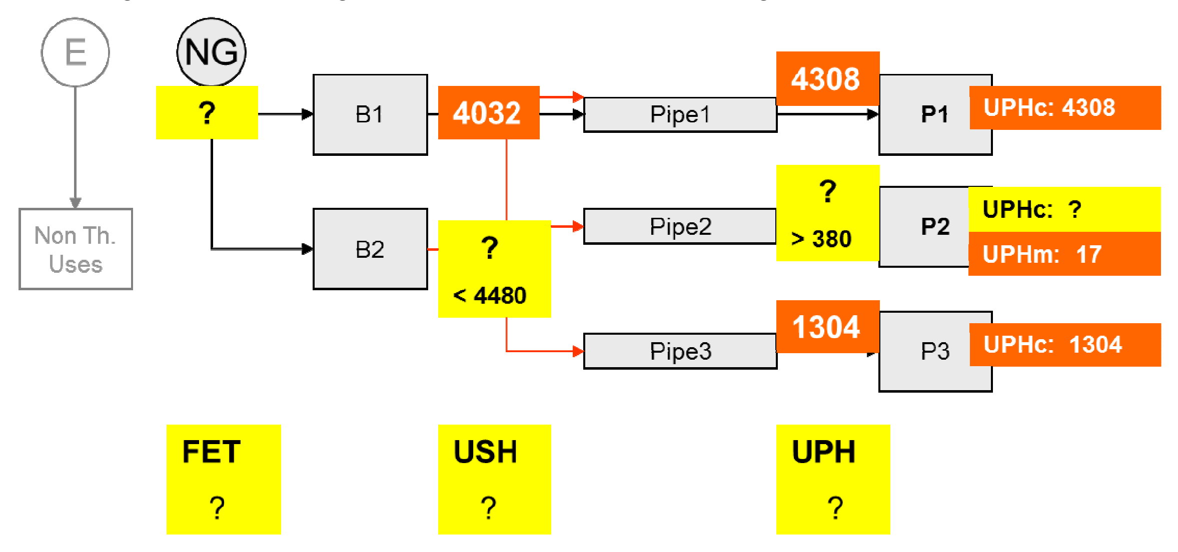


Abbildung 49: Ausgangspunkt der Analyse: Sowohl der Gesamtenergieverbrauch als auch der Energieverbrauch eines kleinen Prozesses sind unbekannt (Beispielprojekt „EINSTEIN Audit-Leitfaden 42 2b")

4.2.3.3 Gesamtwärmebedarf und technische Heizkesseldaten sind unbekannt

Die Situation ist völlig unklar, wenn auch die Nennleistung des Heizkessels unbekannt ist, und so keine vernünftige Eingrenzung des Wärmebedarfs von Prozess 2 vorgenommen werden kann (Beispielsprojekt „EINSTEIN Audit-Leitfaden 42 2c").

4.2.4 Verwendung von geschätzten Werten

Einige Ergebnisse aus den Beispielen im vorigen Abschnitt können verbessert werden, wenn neben den mathematischen Beziehungen (Energiebilanzen) auch Schätzungen auf der Basis von technischem Fachwissen eingesetzt werden.

Bei unseren Beispielen könnte das sein:

- Man kann davon ausgehen, dass die Teillastfaktoren des Heizkessels in einer geringeren Spanne als 0 bis 100% liegen, da beide Extreme in der Praxis höchst unwahrscheinlich sind.

- Selbst wenn die Rohrlänge fehlt, kann eine Größenordnung geschätzt werden.

Mit der Option für die Datenschätzung des EINSTEIN Tools kann dies automatisch erfolgen. In Beispiel 2b kann der Prozesswärmebedarf des Eindickungsprozesses (Prozess 2) somit mit hoher Genauigkeit (<30 % Fehlerspielraum) auf 745 MWh beziffert werden. Nur der Wärmebedarf zur Erhaltung dieses Prozesses ist immer noch unbekannt (aufgrund der Unsicherheit des Massenstroms des einströmenden Prozessmediums): Q_{UPHc} = 737 ± 37 %.

4.3 Wärmerückgewinnung: Beispiel der Molkerei

Die praktische Anwendung des Moduls zur Wärmerückgewinnung wird anhand des Beispiels einer Molkerei veranschaulicht.

In diesem Modul werden die Daten der Prozesse in sogenannte *Energieströme* umgewandelt, die entweder kalte Ströme sein können (die erwärmt werden müssen und so einen positiven Energiebedarf haben) oder heiße Ströme (die gekühlt werden und als Energiequelle für andere Prozesse dienen können). Diese Ströme werden dann mit einem Algorithmus analysiert, und aus den Ergebnissen können Vorschläge für Wärmetauscher für das System erarbeitet werden, die das Ziel haben, die maximale Energieeinsparung über das Jahr zu erreichen.

4.3.1 Flussdiagramm und Prozessbeschreibung

Unser Projektbeispiel ist eine Molkerei, in der die energieintensivsten Prozesse der Fermenterprozess und die Eindampfung von Molke zur Herstellung von Molkepulver sind. Abbildung 50: **Flussdiagramm der Käse- und Molkepulverherstellung in der Molkerei**

zeigt die Prozesse in einem Flussdiagramm. Zuerst wird kalte Milch pasteurisiert und eingelagert. Für die Käseherstellung wird die Milch vorgewärmt und in den Fermenter eingebracht, wo heißes Waschwasser bei 65 °C beigemengt wird. Außerdem wird der Fermenter auch extern beheizt. Die Molke wird abgeschieden und nach einigen Reinigungsschritten von ca. 45 °C auf die Lagertemperatur abgekühlt. Für die Eindampfung wird die Molke extern erhitzt und dann in einen Brüdenverdampfer eingebracht. Die Molke wird beim Eindampfungsvorgang von ca. 6 % Trockenmasse auf 60 % Trockenmasse getrocknet. Das entstandene Molkekonzentrat hat also nur mehr 1/10 der Masse der Molke vor der Eindampfung. Das heiße Kondensat wird bei 75 °C aufgefangen. Das ist verglichen mit der Wärme, die im warmen Molkekonzentrat aus dem Prozess austritt, die größte Abwärmemenge. Das heiße Molkekonzentrat verlässt den Verdampfer und wird dann in einem Sprühtrockner auf die endgültige Trockenmasse getrocknet.

Die Pasteurisation verfügt bereits über einen guten internen Wärmetausch, weshalb die höchste Priorität für Energieeinsparungen beim Fermenter und bei der Molkeeindampfung liegt. Daher werden nur diese Prozesse im folgenden Beispiel berücksichtigt.

Für die Wärmerückgewinnung müssen die Zeitpläne der Ströme berücksichtigt werden. Folgende Betriebszeiten werden für das Projekt angenommen:

- Fermentation: 10 Batches pro Tag, jeweils 2 Stunden lang an 5 Tagen pro Woche
  Milchvorwärmen: 30 Min. vor jedem Batch
  Waschwasser: 20 Min. während jedes Batches

- Eindampfung: kontinuierlicher Prozess, 14 Std./Tag an 5 Tagen pro Woche

4.3.2 Eingeben von Prozessdaten bei EINSTEIN

Folgende Prozesse sind also bei EINSTEIN im Dateneingabemodul definiert (Tabelle 18):

Tabelle 18: :Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsanalyse.

Prozess	Prozess-Typ:	Eingehender Prozessstrom	Abgehende Abwärme	Dem laufenden Prozess zugeführte Leistung
Milchvorwärmen:	Batch	Milch, von 6 auf 32 °C, 180 m³ pro Tag 10 Batches	Keine (heiße Milch fließt in den Fermenter)	keine
Waschwasser-Vorwärmen:	Batch	Wasser, von 10 auf 65 °C 18 m³ pro Tag 10 Batches	Keine (heißes Wasser fließt in den Fermenter)	keine
Fermenter	Batch	Milch, von 32 auf 45 °C 180 m³ pro Tag 10 Batches	Heiße Molke bei 45 °C, gekühlt auf 8° C ~ 170 m³ pro Tag	200 kW
Molkeeindampfung-Vorwärmung	kontinuierlich	Molke, von 8 auf 100 °C 180 m³ pro Tag	Heißes Kondensat 75°C, 140 m³ pro Tag, Molkekonzentrat 50°C, 28 m³ pro Tag	2.400 kW

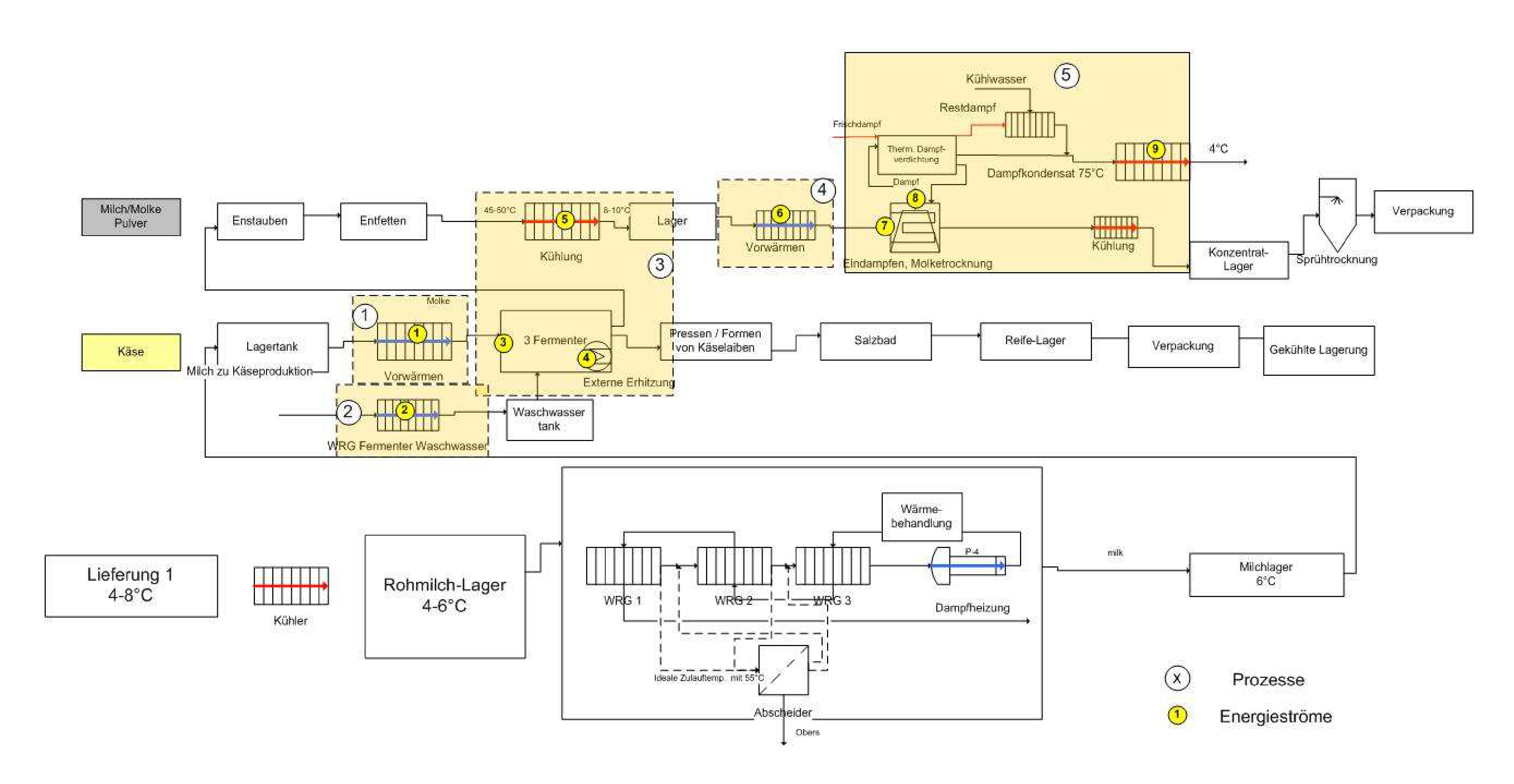


Abbildung 50: Flussdiagramm der Käse- und Molkepulverherstellung in der Molkerei

4.3.3 Prozessoptimierung

Der Audit Methodik und dem Prinzip Vermeiden vor Weiterverwendung entsprechend sollten zuerst allgemeine Sparmaßnahmen und Optimierungen mit neuen / bestmöglich verfügbaren Technologien angestrebt werden. In diesem Beispiel müssen Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs für die Eindampfung berücksichtigt werden, wie z.B. die Umkehr-Osmose oder die Vakuumverdampfung. Reduzierter Energieverbrauch führt zu weniger nutzbarer Abwärme, führt letztlich aber zu einem kompakteren Prozess mit weniger Energieverbrauch. Die Anwendbarkeit neuer Technologien hängt natürlich von den Prozessparametern und dem Willen des Unternehmens zur Implementierung der technischen Änderungen ab.

Aus Gründen der Einfachheit enthält dieses Beispiel keine Prozessoptimierung.

4.3.4 Wärmerückgewinnungsberechnung

Die Wärmerückgewinnungsberechnung generiert die auf den eingegebenen Prozessdaten basierenden Energieströme neu.

Tabelle 19: Energieströme nach der Berechnung:

Strom Nr.	Name des Stroms	Beschreibung	Start-Temperatur °C	End-Temperatur °C	Heiß/ Kalt	Enthalpie kW	Betriebs-stunden Std./Jahr
1	Milchvor-wärmen		6	32	Kalt	529	2.600
2	Käsewasch-wasser		10	65	Kalt	115	780
3	Inbetrieb-nahme Fermenter	Milcherwärmen von 32 auf 45 °C	32	45	Kalt	203	2.600
4	Laufender Fermenter	Temperatur auf 45 °C halten	45	50 (Temperatur zum Erhalt der Betriebstempera-tur wird wegen Wärmetransfer um 5° höher angesetzt)	Kalt	100	5.200
5	Abwärme Fermenter	Heiße Molke	45	8	Heiß	--753	2.600
6	Betrieb des Molkevor-wärmens		8	100	Kalt	1.376	3.640
7	kontinuier-liche Beheizung, Molke-eindampfung	Molketemperatur weiter auf 100 °C halten	100	100	Kalt	2.200	3.640
8	Kondensat Molke-eindampfung	Heißes Wasser generiert vom Kondensat	75	4	Heiß	-826	3.640
9	Molkekonzen trat von Molke-eindampfung	Molkekonzentrat verlässt den Eindicker	50	8	Heiß	--98	3.640
10	Kesselabgas fühlbare Abwärme	Abwärme im Kesselabgas bis zur Kondensations-temperatur	140	58	Heiß	--138	5.200
11	Verbrennung, Luftvorwärmu ng		25	80	Kalt	85	5.200

.

Die latente Wärme des Kesselabgases auf dem Niveau der Kondensationstemperatur wurde aus Gründen der Einfachheit nicht in dieses Bespiel aufgenommen.
Von der Wärme- und Kälteverbundkurve – einem Addieren der Enthalpie-/Temperaturvektoren aller kalten Ströme (Kälteverbundkurve) und aller heißen Ströme (Wärmeverbundkurve) – lassen sich die allgemeinen Möglichkeiten für den Wärmetausch ablesen.

Der hohe Energiebedarf der Eindampfung zeigt sich in der Kälteverbundkurve deutlich. Trotzdem gibt es noch eine relativ große Überschneidung zwischen der verfügbaren Abwärme und den kalten Strömen, die erwärmt werden müssen. Laut der Pinch-Kurven beträgt das thermodynamische Maximum für den Wärmetausch ungefähr 2.400 kW. Die Pinch-Temperatur liegt zwischen 0 und 4 °C.

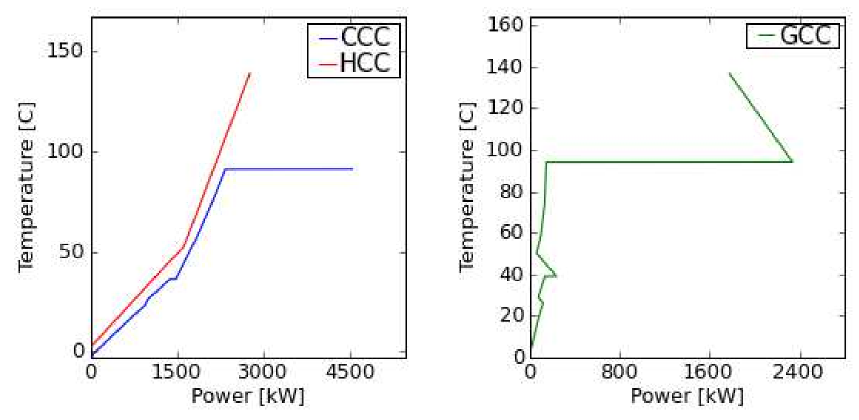


Abbildung 51: Wärme- und Kältekurve des oben beschriebenen Prozesses ($\Delta T_{min}=5K$)

4.3.5 Ergebnisse

4.3.5.1 Schätzung des Abwärmepotenzials of Basis der Pinchanalyse

Mit dem Schätzmodus von EINSTEIN für Abwärmeberechnungen kann eine erste Schätzung des Abwärmepotenzials gemacht werden (siehe folgende Grafik). Das geschätzte Einsparpotenzial liegt bei 3.815 MWh Nutzwärme.

Abbildung 52: Wärme- und Kältebedarf vor und nach Wärmerückgewinnung. EINSTEIN Schätzungsmodus

4.3.5.2 Automatischer Entwurf eines Wärmetauscher-Netzwerkes

Der Algorithmus für den automatischen Entwurf eines Wärmetauscher-Netzwerkes in der EINSTEIN Software berücksichtigt Kriterien wie geeignete Temperaturen für Abwärmenutzung, Verfügbarkeit und passende Kapazität der Wärmeströme (m*cp). Es ist wichtig zu wissen, dass entsprechend der thermodynamischen Kriterien das Wärmetauscher-Netzwerk über und unter Pinch separat berechnet wird. Das Ergebnis der Berechnung des Wärmetauscher-Netzwerkes kann zu einem großen Teil von kleinen Änderungen in den Prozessdaten, die evt. die Pinch-Temperatur beeinflussen, abhängen. Das Ergebnis, das in der Tabelle 20 gezeigt wird, wurde mit den vorgegebenen Einstellungen für den Entwurfsassistenten generiert.

- Mindesttemperatur-Differenz = 5K
- Verhältnis der Energieeinsparung zu Gesamtwärmeverbrauch > 1 %
- Verhältnis der Energieeinsparung zur Leistung der installierten Wärmetauschern > 200 kWh/kW

Die Dimensionierug der Wärmetauscher beinhaltet auch die Auswahl einer passenden Wärme- oder Kältespeicherung (wenn diese im Prozess nicht sofort genutzt wird). Für die korrekte Dimensionierung der Speichergrößen ist die korrekte Definition der Prozesszeiten erforderlich.

Tabelle 20 Vorgeschlagene Wärmetauscher[16]

Wärme-tauscher	**Leistung**	**Heißer Strom**	**Thi °C**	**Tho °C**	**Kalter Strom**	**Tci °C**	**Tco °C**	**benötigter Speicher, m³**
NewHX Nr. 0	529	Fermenter Abwärme	45	11	Milchvor-wärmung	6	32	11,3
NewHX Nr. 1	722	Kondensat Molke-eindampfung	75	13	Molkevor-wärmung	8	56	0
NewHX Nr. 2	73	Molke-eindampfung	50	15	Käsewasch-wasser	10	45	1,8
NewHX Nr. 3	85	Kesselrauchgas	140	58	Verbrennungs-luftvor-wärmung	25	80	0,7

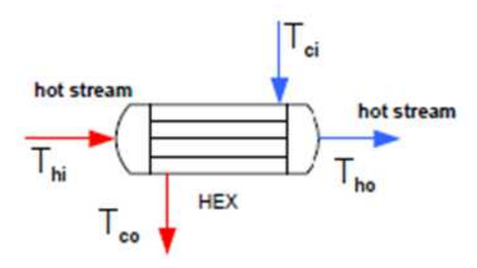


Abbildung 53: Ströme in einem Wärmetauscher

Es ist offensichtlich, dass die Abwärme aus dem Eindampfungsprozess gut in den Bedarf integriert werden muss. EINSTEIN schlägt dafür den Wärmetauscher Nr.1 vor.

Exergetisch gesehen wäre es sinnvoll, diese 75 °C Wärme zuerst für Prozesse, die dasselbe Temperaturniveau benötigen, zu nutzen. Anschließend sollte die Abwärme zum Vorheizen für Ströme mit ähnlicher Wärmekapazität (m*cp) verwendet werden. Dies hebt insbesondere interne Wärmetauscher hervor und gewährleistet, dass die Temperaturdifferenzen ideal genutzt werden.
EINSTEIN schlägt vor, das heiße Kondensat vom Eindampfungsprozess zum Aufheizen der Molke zu verwenden.

[16] Die Ergebnisse in Tabelle 20 entsprechen der EINSTEIN Version 1.2, Auto-Design. Letzte Up-Dates in Berechnungmodulen für Wärmerückgewinnung können eventuell zu leicht abweichenden Ergebnissen führen. Das hängt auch vom gewählten Wärmerückgewinnungs-Berechnungsmodus ab.

Die heiße Molke aus dem Fermenter ist der zweite wichtige Strom, der in das Wärmetauscher-Netzwerk integriert werden muss. Die Verwendung dieses Stroms ist wirtschaftlich gesehen sehr interessant, da so auch ihr eigener Kühlbedarf gesenkt werden kann, der für die Lagerung nötig ist. Es wird vorgeschlagen, dass mit der Molke das Käsewaschwasser auf 32 °C vorgewärmt wird. Dies ist eine übliche Lösung in Molkereien.
Es wird vorgeschlagen, dass das heiße Konzentrat aus dem Eindampfer nun das Käsewaschwasser vorheizt. Verglichen mit den anderen Wärmetauschern ist die Leistung eher gering, erfüllt aber die Anforderungen des Design-Assistenten.

Zum Schluss sollte noch ein Wärmetauscher die Verbrennungsluft für den Kessel vorwärmen bei gleichzeitiger Kühlung der Abluft auf Taupunkttemperatur. Die praktische Anwendbarkeit dieser Maßnahme und die Möglichkeit, die Kondensationswärme zu nutzen, hängen weitgehend vom verwendeten Brennstoff ab.

Wie oben beschrieben bietet EINSTEIN einen Erstvorschlag für ein Wärmetauscher-Netzwerk mit dem Ziel der maximalen Energieeinsparung. Der Einsatz der empfohlenen Wärmetauscher muss auf technische Machbarkeit überprüft werden. Dabei sind Kriterien, wie z.B. gesetzliche Vorgaben, die Entfernung zwischen den Energieströmen, Platzerfordernis oder Aspekte der Hygiene zu berücksichtigen.

Weiters sollte geprüft werden, ob ein Rest-Potenzial an Energieeinsparung besteht, erreichbar durch händische Optimierung und Feinabstimmung des vorgeschlagenen Wärmetauscher-Netzwerkes. In diesem Beispiel werden 4.146 MWh Wärmeenergie gespart, was einen um nahezu 10 % höheren Wert darstellt, als im vorigen Kapitel angenommen wurde.

Terminologie

Abkürzungen und Akronyme

BCR Kosten-Nutzen-Verhältnis (benefit cost ratio)
CF Cashflow
CST zentrale Zufuhrtemperatur (central supply temperature)
EHD Äquivalenter Wärmebedarf (equivalent heat demand)
EEI Energieeffizienzindex
EX Nettoausgaben für das Projekt
FEC Endenergieverbrauch (final energy consumption)
FET Endenergie für thermische Zwecke
IRR interner Zinsfuß (internal rate of return)
KWK Kraft-Wärme-Kopplung
H_i unterer Heizwert
NPV Netto-Zeitwert (net present value)
PBP Amortisationszeit (payback period)
PEC Primärenergieverbrauch (primary energy consumption)
PET Primärenergieverbrauch für thermische Zwecke
PSW Vorwärmen des Zulaufs (preheating of supply water)
PST Prozesszufuhrtemperatur (process supply temperature)
PT Prozesstemperatur
QHX rückgewonnene Abwärme; Wärmefluss über die Wärmetauscher
QWH verfügbare Abwärme
ST Zufuhrtemperatur (supply temperature)
UPH/C Prozessnutzwärme und –kälte (useful process heat/cold)
USH/C Nutzwärme und –kälte (useful supply heat/cold)

Symbole

A Fläche
c_p spezifische Wärmekapazität
d unternehmensspezifischer Diskontsatz
E Energie
f Umwandlungsfaktor
h spezifische Enthalpie
m Masse
N (An-)Zahl (z.B Brennstoffe)
Q Wärme
$\dot{Q}$ Wärmeflusszahl
q_m Massenstromzahl
r Realzinssatz für die externe Finanzierung
S Projekteinsparungen
T Temperatur
t Zeit
U globaler Wärmeübergangskoeffizient
η Wirkungsgrad

Indices

c - Umlauf-, Kondensat
cs - zentrale Zufuhr (central supply)
e - effektiv
el - elektrisch
elgen - selbst erzeugter Strom
env - Umwelt (environment)
eq - Anlage, Gerät (equipment)
ESources - Energiequellen
f - End- (final)
fuels - Brennstoffe
fw - Speisewasser (feed water)
HX - Wärmerückgewinnungs-Wärmetauscher
i - Eingang (inlet), Index für Energiequelle (Brennstoffart, Strom)
j - Index für thermisches Gerät
L - latente Wärme (für Verdampfung (+), Kondensation (-), endotherme oder exotherme chemische Reaktionen)
o - Ausgang (outlet)
op - Betriebs- (operating)
p - Prozess
pi - Prozesseintritt
pipe - Rohr
pir - Prozesseintritt nach Wärmerückgewinnung
po - Prozessaustritt
por - Prozessaustritt nach Wärmerückgewinnung
Proc - Prozess
pt – Prozessziel
PE - Primärenergie
PS - Prozesszufuhr (process supply)
m - Erhaltung (maintenance)
min - Minimum
ref - Referenz
ret - Rücklauf (return)
s – Inbetriebnahme/Start (start-up)
tch - thermisch betrieben Kältemaschine
w - Abfall (waste)
WHEE – Abwärme von elektrischen Geräten